



TUGAS AKHIR - TF 141581

**OPTIMASI KONDISI OPERASI UNTUK  
MENGURANGI *FOULING* PADA *HEAT  
EXCHANGER* DI *RESIDUAL FLUID CATALYTIC  
CRACKING UNIT* (RFCC) PT. PERTAMINA  
(PERSERO) RU IV - CILACAP**

FEBIANTI AMIRA RAHMADANI  
NRP. 2413100130

Dosen Pembimbing  
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.  
Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**FINAL PROJECT - TF 141581**

**OPTIMIZATION OF OPERATING CONDITIONS  
FOR MITIGATING FOULING IN HEAT  
EXCHANGER AT RESIDUAL FLUID CATALYTIC  
CRACKING UNIT (RFCC) PT. PERTAMINA  
(PERSERO) RU IV - CILACAP**

**FEBIANTI AMIRA RAHMADANI**  
**NRP. 2413100130**

**Supervisor**  
**Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.**  
**Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS**  
**Faculty of Industrial Thecnology**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**



## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Febianti Amira Rahmadani  
NRP : 2413100130  
Jurusan/Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Optimasi Kondisi Operasi untuk Mengurangi *Fouling* pada *Heat Exchanger* di *Residual Fluid Catalytic Cracking Unit* (RFCC) PT. PERTAMINA (Persero) RU IV - Cilacap” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya yang lain. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 20 Januari 2017

Yang membuat pernyataan,

Febianti Amira Rahmadani  
NRP. 2413 100 130



## LEMBAR PENGESAHAN

### OPTIMASI KONDISI OPERASI UNTUK MENGURANGI *FOULING* PADA *HEAT* *EXCHANGER* DI *RESIDUAL FLUID CATALYTIC* *CRACKING UNIT* (RFCC) PT. PERTAMINA (PERSERO) RU IV - CILACAP

#### TUGAS AKHIR

Oleh :

**FEBIANTI AMIRA RAHMADANI**

**NRP. 2413 100 130**

Surabaya, 20 Januari 2017

Mengatahui/Menyetujui

Pembimbing I,



**Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.**

**NIPN : 19710702 199801 1 001**

Pembimbing II,



**Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.**

**NIPN : 19760523 200012 2 001**



**Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI – ITS**

**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**NIPN : 19780902 200312 1 002**





## LEMBAR PENGESAHAN

### OPTIMASI KONDISI OPERASI UNTUK MENGURANGI *FOULING* PADA *HEAT EXCHANGER* DI *RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING UNIT (RFCC)* PT. PERTAMINA (PERSERO) RU IV - CILACAP

#### TUGAS AKHIR






Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FEBIANTI AMIRA RAHMADANI**

NRP. 2413 100 130

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.  (Pembimbing I)
2. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.  (Pembimbing II)
3. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  (Ketua Penguji)
4. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  (Penguji I)
5. Andi Rahmadiansah, S.T., M.T.  (Penguji II)

**SURABAYA  
JANUARI, 2017**



**OPTIMASI KONDISI OPERASI UNTUK  
MENGURANGI *FOULING* PADA *HEAT  
EXCHANGER* DI *RESIDUAL FLUID CATALYTIC  
CRACKING UNIT (RFCC)* PT. PERTAMINA  
(PERSERO) RU IV - CILACAP**

**Nama Mahasiswa** : Febianti Amira Rahmadani  
**NRP** : 2413100130  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D  
2. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

**Abstrak**

Peralatan mekanik dengan kinerja tinggi, seperti *heat exchanger*, saat ini menjadi elemen penting bagi industri di seluruh dunia dimana kegagalan yang terjadi dapat menyebabkan kerugian bagi industri terkait. Kegagalan utama yang terjadi disebabkan karena adanya *fouling*. *Fouling* pada *heat exchanger* dapat berdampak negatif sehingga perlu adanya metode yang tepat untuk mengurangi dampak negatif dari *fouling* tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu mengubah variabel-variabel kondisi operasi yang terdiri dari *flowrate* serta temperatur keluaran pada sisi *shell* dan *tube*. Untuk mendapatkan variabel-variabel kondisi operasi yang maksimal sehingga *fouling* dapat berkurang maka diperlukan optimasi. Pada Tugas Akhir ini, metode optimasi yang digunakan yaitu *evolution strategis*. Adapun mekanisme optimasi dengan *evolution strategis*, yaitu mengurangi *flowrate steam* pada sisi *shell* dan menambah temperatur keluaran pada sisi *shell* sehingga kecepatan dan waktu tinggal *steam* di dalam *heat exchanger* semakin lama. Jika waktu tinggal *steam* semakin lama maka proses perpindahan panas antar fluida semakin baik. Jika proses perpindahan panas antar fluida semakin baik maka *fouling* yang terbentuk semakin kecil dan efisiensi *heat exchanger* semakin baik. Pada Tugas Akhir ini menggunakan *heat exchanger* dengan tag number 101-E-527B di unit RFCC PT. PERTAMINA RU-IV Cilacap. Setelah dilakukan optimasi dengan menggunakan *evolution strategis* pada *heat exchanger* tersebut maka didapatkan rata-rata *fouling resistance* sebesar  $4,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{C/W}$  dan rata-rata efisiesi sebesar 89,73%.

**Kata kunci** : *Heat exchanger, fouling, evolution strategis*



**OPTIMIZATION OF OPERATING CONDITIONS FOR  
MITIGATING FOULING IN HEAT EXCHANGER AT  
RESIDUAL FLUID CATALYTIC CRACKING UNIT  
(RFCC) PT. PERTAMINA (PERSERO) RU IV -  
CILACAP**

**Name** : Febianti Amira Rahmadani  
**NRP** : 2413100130  
**Department** : Department of Engineering Physics  
**Supervisor** : 1. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D  
2. Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T.

***Abstract***

*Mechanical equipment with high performance, such as heat exchangers, is now becoming an essential element for the worldwide industry where the failures of heat exchanger can cause disadvantage for the industry. The main failures of heat exchanger is fouling. Fouling in the heat exchanger have a negative impact so it needs a method for mitigation the negative impacts. One of method that can be used is changing variables operating conditions, such as flowrate and temperature out side of the shell and tube side. To get the maximum variabls and reduced the fouling, it required to optimization. In this final project, optimization methods used evolution strategis algorithm. The mechanism of evolution strategis algorithm for optimization is reducing the flowrate of steam on the shell side and increase the output temperature on the shell side so the steam velocity and residence time in the heat exchanger is getting long. If the residence time of steam is longer so the heat transfer process between two fluids is getting better. If the heat transfer of fluids is better so fouling in the heat exchanger is smaller and the effcinecy of the heat exchanger is better. In this final project using a heat exchanger with the tag number 101-E-527B in RFCC unit PT. PERTAMINA RU-IV Cilacap. After optimization using evolution strategis algorithm, then the heat exchanger obtained an average fouling resistance is  $4,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{C} / \text{W}$  and average efficiency is 89.73%*

**Keywords:** *Heat exchanger, fouling, evolution strategis*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

**“OPTIMASI KONDISI OPERASI UNTUK MENGURANGI  
FOULING PADA HEAT EXCHANGER DI RESIDUAL FLUID  
CATALYTIC CRACKING UNIT (RFCC) PT. PERTAMINA  
(PERSERO) RU IV – CILACAP”**

Terwujudnya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah mendorong dan membimbing penulis, baik tenaga, ide-ide maupun pemikiran. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS
2. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. dan Ibu Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
3. Bapak/Ibu Dosen dan segenap Karyawan Tata Usaha Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS
4. Bapak Sudayat selaku *Section Head of Utilities RFCC Unit* PT. PERTAMINA (Persero) RU IV - Cilacap, Bapak Rudianto Lakota dan Bapak Aryo Rizky Putra selaku *Process Engineer of RFCC Unit* PT. PERTAMINA (Persero) RU IV – Cilacap
5. Ayah, Ibu, Mbak Titi, Anin dan segenap keluarga
6. Rekan-rekan Teknik Fisika FTI-ITS dan rekan-rekan asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini belum sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 20 Januari 2017

Penulis





## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xxiii</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	 <b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	4
 <b>BAB II TINJUAN PUSTAKA .....</b>	 <b>5</b>
2.1 <i>Heat Exchanger</i> .....	5
2.2 <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> .....	5
2.3 <i>Konstruksi Shell and Tube Heat Exchanger</i> .....	7
2.4 <i>Pemodelan Heat Exchanger</i> .....	9
2.5 <i>Koefisien Perpindahan Panas</i> .....	12
2.6 <i>Fouling</i> .....	15
2.7 <i>Evolution Strategis</i> .....	16
 <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	 <b>19</b>
3.1 <i>Pengambilan Data</i> .....	20
3.2 <i>Rekonsiliasi Data</i> .....	21
3.3 <i>Pemodelan Heat Exchanger</i> .....	23
3.4 <i>Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Sisi Shell dan Tube</i> .....	24

3.5	Penentuan Fungsi Objektif .....	25
3.6	Optimasi Menggunakan <i>Evolution Strategis</i> .....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>29</b>
4.1	Hasil Rekonsiliasi Data .....	29
4.2	Hasil Pemodelan <i>Heat Exchanger</i> .....	33
4.3	Hasil Perhitungan <i>Fouling Resistance</i> Sebelum Dioptimasi.....	34
4.4	Hasil Optimasi Kondisi Operasi .....	35
4.5	Hasil Perhitungan <i>Fouling Resistance</i> Setelah Dioptimasi.....	37
4.6	Hasil Perhitungan Efisiensi <i>Heat Exchanger</i> Setelah Dioptimasi.....	38
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>41</b>
5.1	Kesimpulan .....	41
5.2	Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>xxv</b>
<b>LAMPIRAN A</b> <i>Data Sheet Heat Exchanger 101-E-527B</i>		
<b>LAMPIRAN B</b> <i>Process Flow Diagram</i>		
<b>LAMPIRAN C</b> <i>Piping &amp; Instrumentation Diagram</i>		
<b>LAMPIRAN D</b> Data Kondisi Operasi <i>Heat Exchanger</i> Sebelum Direkonsiliasi		
<b>LAMPIRAN E</b> Data Kondisi Operasi <i>Heat Exchanger</i> Setelah Direkonsiliasi		
<b>LAMPIRAN F</b> Data Kondisi Operasi <i>Heat Exchanger</i> Setelah Dioptimasi		
<b>LAMPIRAN G</b> Data <i>Fouling Resistance Heat Exchanger</i> pada Kondisi Sebelum Dioptimasi, Setelah Dioptimasi, Kondisi Desain		
<b>LAMPIRAN H</b> Data Efisiensi <i>Heat Exchanger</i> pada Kondisi Sebelum Dioptimasi dan Setelah Dioptimasi		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>2.1</b>	Skema <i>shell and tube heat exchanger</i> .....	6
<b>Gambar</b>	<b>2.2</b>	<i>Fixed tube sheet exchanger</i> .....	6
<b>Gambar</b>	<b>2.3</b>	<i>Floating head heat exchanger</i> .....	7
<b>Gambar</b>	<b>2.4</b>	<i>Removable u- tube bundle</i> .....	7
<b>Gambar</b>	<b>2.5</b>	Kode bagian-bagian <i>shell and tube heat exchanger</i> berdasarkan TEMA standar .....	8
<b>Gambar</b>	<b>2.6</b>	Konstruksi <i>shell and tube heat exchanger</i> tipe AES .....	9
<b>Gambar</b>	<b>3.1</b>	Diagram alir penelitian .....	19
<b>Gambar</b>	<b>3.2</b>	Diagram alir penelitian (lanjutan) .....	20
<b>Gambar</b>	<b>3.3</b>	Skema diagram <i>heat exchanger</i> .....	26
<b>Gambar</b>	<b>3.3</b>	Diagram alir <i>evolutionary strategis</i> .....	26
<b>Gambar</b>	<b>4.1</b>	Temperatur masukan MPS pada sisi <i>shell</i> berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi .....	29
<b>Gambar</b>	<b>4.2</b>	Temperatur keluaran MPS pada sisi <i>shell</i> berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi .....	30
<b>Gambar</b>	<b>4.3</b>	Temperatur masukan MCB pada sisi <i>tube</i> berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi .....	30
<b>Gambar</b>	<b>4.4</b>	Temperatur keluaran MCB pada sisi <i>tube</i> berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi .....	31
<b>Gambar</b>	<b>4.5</b>	<i>Mass flow rate</i> MPS pada sisi <i>shell</i> berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi .....	31
<b>Gambar</b>	<b>4.6</b>	<i>Mass flow rate</i> MCB pada sisi <i>tube</i> berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi .....	32
<b>Gambar</b>	<b>4.7</b>	Laju perpindahan panas sisi <i>shell</i> dan <i>tube</i> setelah direkonsiliasi .....	33
<b>Gambar</b>	<b>4.8</b>	<i>Resistance fouling</i> pada keadaan bersih dan keadaan <i>fouling</i> .....	34
<b>Gambar</b>	<b>4.9</b>	<i>Flow rate</i> MPS pada sisi <i>shell</i> sebelum dan sesudah dioptimasi .....	35

<b>Gambar 4.10</b>	<i>Flow rate</i> MCB pada sisi <i>tube</i> sebelum dan sesudah dioptimasi .....	35
<b>Gambar 4.11</b>	Temperatur keluaran pada sisi <i>shell</i> sebelum dan sesudah dioptimasi .....	36
<b>Gambar 4.12</b>	Temperatur keluaran pada sisi <i>tube</i> sebelum dan sesudah dioptimasi .....	36
<b>Gambar 4.13</b>	<i>Fouling resistance</i> pada kondisi desain, sebelum dan sesudah dioptimasi .....	37
<b>Gambar 4.14</b>	Efisiensi <i>heat exchanger</i> sebelum dan sesudah dioptimasi .....	39

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	<i>Tag number</i> pada pengumpulan data di DCS.....	21
------------------	---	----



## DAFTAR SIMBOL

$A$	= Luas permukaan perpindahan panas ( $m^2$ )
$A_s$	= Luas permukaan <i>shell</i> ( $m^2$ )
$c_{p,c}$	= Kalor jenis pada fluida dingin ( $J/kg \cdot K$ )
$c_{p,h}$	= Kalor jenis pada fluida panas ( $J/kg \cdot K$ )
$d_i$	= Diameter dalam pada sisi <i>tube</i> (m)
$d_o$	= Diameter luar pada sisi <i>tube</i> (m)
$F_T$	= Faktor koreksi
$h_i$	= Koefisien perpindahan panas pada sisi <i>tube</i> ( $W/m^2 \cdot K$ )
$h_o$	= Koefisien perpindahan panas pada sisi <i>shell</i> ( $W/m^2 \cdot K$ )
$J_i$	= Faktor ideal <i>Coulburn j</i> ( $J_i$ )
$k_s$	= Koefisien konduktifitas panas pada sisi <i>shell</i> ( $W/m \cdot K$ )
$k_T$	= Koefisien konduktifitas panas pada sisi <i>tube</i> ( $W/m \cdot K$ )
$L$	= Panjang per <i>tube</i> (m)
$LMTD$	= <i>Log Mean Temperature Difference</i>
$m_c$	= Laju aliran massa pada fluida dingin ( $kg/s$ )
$m_h$	= Laju aliran massa pada fluida panas ( $kg/s$ )
$m_s$	= Laju aliran massa pada sisi <i>shell</i> ( $kg/s$ )
$N_{u,T}$	= Bilangan <i>Nusselt</i>
$P_{r,s}$	= Bilangan <i>prandtl</i> pada sisi <i>shell</i>
$P_{r,T}$	= Bilangan <i>prandtl</i> pada sisi <i>tube</i>
$Q_c$	= Panas yang diterima oleh fluida dingin ( $J/s$ )
$Q_h$	= Panas yang diterima oleh fluida panas ( $J/s$ )
$R_f(t)$	= <i>Fouling resistance</i> ( $m^2 \cdot K/W$ )
$Re_s$	= Bilangan <i>reynold</i> pada sisi <i>shell</i>
$Re_T$	= Bilangan <i>reynold</i> pada sisi <i>tube</i>
$R,S$	= Faktor efisiensi temperatur
$T_{c,i}$	= Temperatur masuk pada fluida dingin ( $^{\circ}C$ )
$T_{c,o}$	= Temperatur keluar pada fluida dingin ( $^{\circ}C$ )
$T_{h,i}$	= Temperatur masuk pada fluida panas ( $^{\circ}C$ )
$T_{h,o}$	= Temperatur keluar pada fluida panas ( $^{\circ}C$ )
$U_a(t)$	= Koefisien perpindahan panas pada kondisi aktual ( $W/m^2 \cdot K$ )

- $U_c(t)$  = Koefisien perpindahan panas pada kondisi bersih  
 $(W/m^2.K)$   
 $\Delta T_m$  = Perbedaan temperatur ( $^{\circ}C$ )  
 $\mu_T$  = Kekentalan dinamis fluida pada sisi *tube* ( $N.s/m^2$ )  
 $\mu_{T,w}$  = Kekentalan dinamis fluida pada temperatur dinding *tube*  
 $(N.s/m^2)$   
 $\mu_s$  = Kekentalan dinamis fluida pada sisi *shell* ( $N.s/m^2$ )  
 $\mu_{s,w}$  = Kekentalan dinamis fluida pada temperatur dinding *shell*  
 $(N.s/m^2)$



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Heat Exchanger* (HE) merupakan suatu peralatan mekanik yang digunakan dalam proses perpindahan panas untuk mentransfer energi dari fluida panas ke fluida dingin, ataupun sebaliknya, tanpa terjadi perpindahan massa didalamnya dan dapat digunakan sebagai pemanas maupun pendingin untuk memenuhi keluaran (*output*) yang ditentukan (Sekulic, 1989). Peralatan mekanik dengan kinerja tinggi, seperti *heat exchanger*, saat ini menjadi elemen penting bagi industri di seluruh dunia dimana kegagalan yang terjadi dapat menyebabkan kerugian bagi industri terkait. Kegagalan utama yang terjadi pada *heat exchanger* saat kondisi operasi disebabkan karena adanya *fouling* (Ezenwa Alfred Ogbonnaya, 2010). *Fouling* pada *heat exchanger* dapat didefinisikan sebagai pembentukan deposit pada permukaan sisi *shell* dan *tube heat exchanger* yang dapat menghambat perpindahan panas dan meningkatkan hambatan aliran fluida pada *heat exchanger* tersebut (Ibrahim, 2012). Adanya *fouling* pada *heat exchanger* dapat berdampak negatif bagi industri terkait, seperti memerlukan biaya pemanasan yang lebih tinggi, adanya penurunan kinerja, memerlukan biaya tambahan untuk merancang *heat exchanger* baru, penambahan jadwal pembersihan dan pemeliharaan serta dampak terburuk yang ditimbulkan oleh *fouling* pada *heat exchanger* yaitu mengakibatkan *shutdown* pada *plant* (Dr. Cuneyt EZGI, 2012).

*Fouling* tidak dapat dihindari tetapi *fouling* dapat dikurangi, sehingga perlu adanya metode-metode yang tepat untuk mengurangi dampak negatif dari *fouling* tersebut. Adapun beberapa metode yang dapat dilakukan, antara lain : dari segi mekanik, yaitu dengan mengubah desain *heat exchanger* yang sudah ada dan dari segi kondisi operasi, yaitu dengan menambahkan zat kimia cair *anti-foulant* kedalam *heat exchanger* (E.M. Ishiyama, 2010) serta mengubah variabel-variabel kondisi operasi dari *heat exchanger*. Beberapa metode tersebut tentu mempunyai kekurangan masing-

masing. Dari segi mekanik, yaitu dengan mengubah desain *heat exchanger* yang sudah ada, seperti mengubah diameter luar pada *tube* ( $d_o$ ) dan jumlah *baffle* ( $N_b$ ), sangat kecil kemungkinan dilakukan. Menurut penelitian, dengan menambah luas permukaan *heat exchanger* sebesar 30-40% memerlukan biaya peralatan sebesar 25%. Selain itu, biaya instalasi untuk *heat exchanger* yang lebih besar dan lebih berat juga meningkat karena fondasi yang dibutuhkan lebih kuat dan ruangan yang diperlukan untuk meletakkan *heat exchanger* tersebut lebih luas. Oleh karena itu, mengubah desain *heat exchanger* untuk mengurangi *fouling* akan berdampak pada biaya instalasi (Asomaning, 1997).

Dari segi kondisi operasi, yaitu dengan menambahkan zat kimia cair *anti-foulant* kedalam *heat exchanger* dinilai kurang ekonomis karena biaya yang dibutuhkan untuk membersihkan *heat exchanger* sebesar \$40.000 sampai dengan \$50.000 tiap *heat exchanger* (Lawler, 1979). Sedangkan dari segi kondisi operasi dengan mengubah variabel-variabel kondisi operasi untuk mengurangi *fouling* belum pernah dilakukan penelitian sebelumnya. Adapun variabel-variabel yang diubah, antara lain temperatur keluaran sisi *shell* ( $T_{c,out}$ ), temperatur keluaran sisi *tube* ( $T_{H,out}$ ), *flowrate* pada sisi *shell* ( $V_{shell}$ ) dan *flowrate* pada sisi *tube* ( $V_{tube}$ ). Kinerja *heat exchanger* pada kondisi operasi dikatakan optimal jika koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi operasi ( $U_A$ ) memiliki nilai yang maksimal sehingga didapatkan nilai minimal pada *fouling resistance*. Jika *fouling resistance* bernilai minimal maka dapat dikatakan *fouling* pada *heat exchanger* tersebut sedikit.

Melihat permasalahan mengenai *heat exchanger* yang dipengaruhi oleh *fouling*, maka diperlukan penelitian mengenai optimasi kinerja *heat exchanger* dengan cara meningkatkan kinerja *heat exchanger* pada kondisi operasi sehingga *fouling* dapat berkurang.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini, antara lain :

- a. Bagaimana cara mengoptimalkan kondisi operasi untuk mengurangi *fouling* pada *heat exchanger* di Unit RFCC PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap?
- b. Bagaimana perbandingan kinerja *heat exchanger* yang dipengaruhi oleh *fouling* antara sebelum dan setelah dioptimasi di Unit RFCC PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap?

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *heat exchanger* yang digunakan bertipe *shell and tube* dengan *tag number* 101-527B di Unit RFCC PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap, pengambilan data desain dan data operasional *heat exchanger* 101-E-527B di Unit RFCC PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap pada tanggal 1 Januari 2016 - 8 Juni 2016. Kemudian melakukan pemodelan *heat exchanger* 101-E-527B pada kondisi *steady state* dengan menggunakan *best principle modern*. Dilanjutkan dengan melakukan perhitungan dan analisa koefisien perpindahan panas *heat exchanger* 101-E-527B pada kondisi operasional. Setelah didapatkan koefisien perpindahan panas *heat exchanger* 101-E-527B, kemudian menentukan fungsi objektif, batasan-batasan dan variabel-variabel yang diubah berdasarkan persamaan dan data-data yang tersedia. Fungsi objektif, batasan-batasan dan variabel-variabel yang diubah kemudian dioptimasi dengan menggunakan metode *evolution strategies*. Hasil dari optimasi tersebut kemudian dianalisis pada Tugas Akhir ini.

### 1.4 Tujuan

Tujuan dilakukan Tugas Akhir ini, antara lain :

- a. Mengoptimalkan kondisi operasi untuk mengurangi *fouling* pada *heat exchanger* di Unit RFCC PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap dengan menggunakan *evolution strategies*
- b. Menganalisis kinerja *heat exchanger* yang dipengaruhi oleh *fouling* baik sebelum maupun setelah dioptimasi pada Unit RFCC PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap

### 1.5 Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah dapat memberikan rekomendasi besarnya temperatur keluaran sisi *shell* ( $T_{c,out}$ ), temperatur keluaran sisi *tube* ( $T_{H,out}$ ), *flow rate* pada sisi *shell* ( $V_{shell}$ ) dan *flow rate* pada sisi *tube* ( $V_{tube}$ ) yang terbaik agar *fouling* pada *heat exchanger* di unit RFCC PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap bernilai minimum serta dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian lain.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Heat Exchanger***

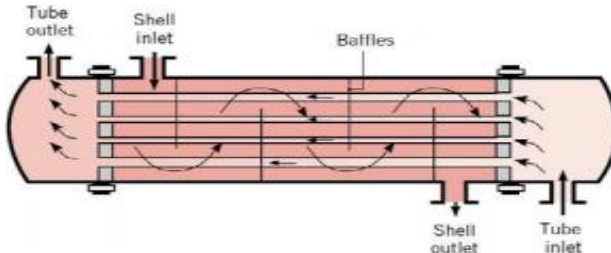
*Heat exchanger* merupakan suatu peralatan mekanik yang digunakan dalam proses perpindahan panas untuk mentransfer energi dari fluida panas ke fluida dingin, ataupun sebaliknya, tanpa terjadi perpindahan massa didalamnya dan dapat digunakan sebagai pemanas maupun pendingin untuk memenuhi keluaran (*output*) yang ditentukan. Perpindahan panas yang terjadi di dalam *heat exchanger* melalui tiga hal, yaitu konveksi, konduksi dan radiasi. Umumnya, laju perpindahan panas dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida, konduktifitas *thermal*, viskositas, kapasitas kalor jenis, perbedaan temperatur pada kedua jenis fluida dan luas permukaan perpindahan panas (M. Thirumarimurugan, 2008).

Terdapat beberapa macam tipe dan desain *heat exchanger*, antara lain *tubular heat exchanger*, *double pipe heat exchanger*, *shell and tube heat exchanger*, *plate heat exchanger*, *plate and frame exchanger*, *plate and shell heat exchanger*, *plate fin heat exchanger*, *waste heat recovery units*, *dynamics scraped surface heat exchanger*, *phase change heat exchanger*, dan lain-lain (Padmakshi Agarwal, 2013).

#### **2.2 *Shell and Tube Heat Exchanger***

*Shell and tube heat exchanger* adalah salah satu jenis *heat exchanger* yang banyak digunakan dalam perusahaan proses di industri terutama perusahaan industri bidang minyak dan gas karena kemampuannya yang fleksibel dan dapat digunakan pada tekanan yang tinggi (dengan tekanan lebih besar dari 30 bar) (Subramanian R. , 2010). Pada *heat exchanger* tipe ini terdiri dari sebuah *shell* dan beberapa *tube*. Pipa-pipa *tube* didesain berada di dalam sebuah ruang berbentuk silinder yang disebut juga dengan *shell*. Fluida yang dialirkan pada sisi *shell* adalah fluida dingin sedangkan fluida yang dialirkan pada sisi *tube* adalah fluida panas, atau sebaliknya. Kedua fluida tersebut kemudian mentransfer energi satu sama lain tanpa adanya perpindahan massa didalamnya

(Kolmetz, 2010). Berikut merupakan skema *shell and tube heat exchanger*.



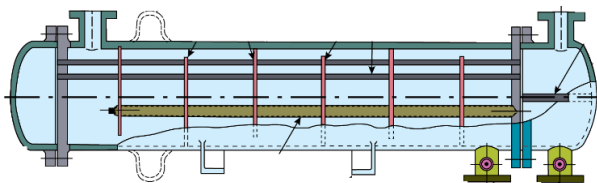
**Gambar 2.1** Skema *shell and tube heat exchanger*

Sumber : Frank P. Incropera, 2007

*Shell and tube heat exchanger* ini terdiri dari beberapa jenis, antara lain :

a. *Fixed tube sheet exchanger*

*Fixed tube sheet exchanger* merupakan salah satu jenis *shell and tube heat exchanger* dengan desain yang paling sederhana dan murah. Dimana pada jenis ini, *shell* dan *tube sheet* terpasang dan tidak memungkinkan untuk di lepas. Berikut merupakan gambar *fixed tube sheet exchanger*.



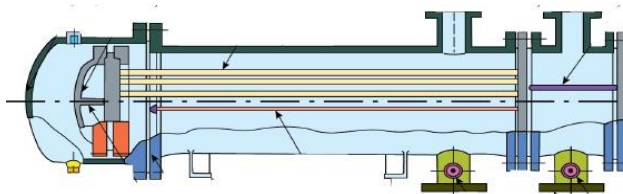
**Gambar 2.2** *Fixed tube sheet exchanger*

Sumber : MHRD, 2012

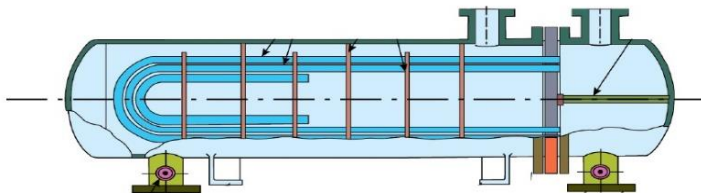
b. *Removable tube bundle*

*Removable tube bundle* merupakan salah satu jenis *shell and tube heat exchanger* yang memungkinkan dilakukan pelepasan

pada sisi *tube bundle*. Karena memungkinkan dilakukan pelepasan pada sisi *tube bundle* sehingga mempermudah untuk dilakukan pembersihan. Pada *removable tube bundle* terdapat dua jenis, yaitu *floating head heat exchanger* dan *u-tube heat exchanger*. Berikut merupakan skema *floating head heat exchanger* dan *u-tube heat exchanger* (MHRD, 2012).



**Gambar 2.3** *Floating head heat exchanger*  
Sumber : MHRD, 2012



**Gambar 2.4** *Removable u-tube bundle*  
Sumber : MHRD, 2012

### 2.3 Konstruksi *Shell and Tube Heat Exchanger*

Secara umum, konstruksi *heat exchanger* tipe *shell and tube* terdiri dari empat bagian utama, yaitu :

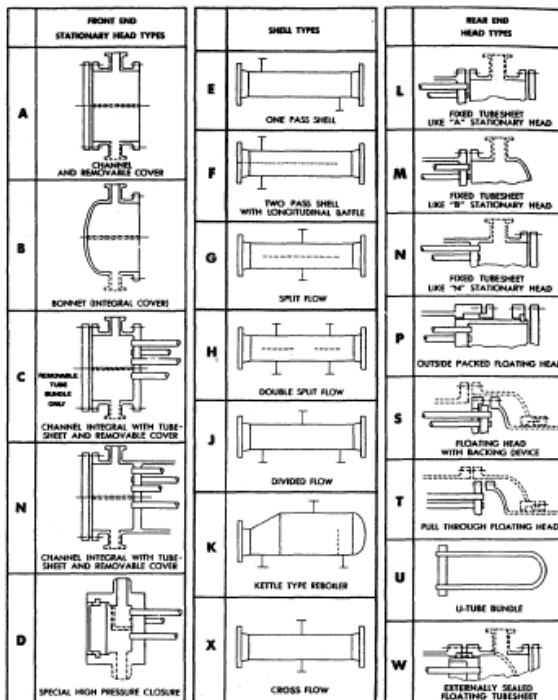
- Bagian depan yang tetap atau *front head stationary head (stationary head)*
- Shell* atau badan *heat exchanger*  
*Shell* adalah bagian tabung dari *heat exchanger* yang berisikan ikatan (*bundle*) dari *tube*. Perpindahan panas di dalam *shell* dari atau *tube* sesuai dengan desain proses yang terjadi.

c. Bagian ujung belakang atau *rear end head* (*rear head*)

d. *Tube bundle* atau kumpulan *tube*

*Tube bundle* merupakan ikatan dari beberapa *tube* yang digunakan untuk mencegah kebocoran fluida dari dalam *tube*.

Di dalam TEMA standar, masing – masing bagian tersebut telah diberi kode dengan menggunakan huruf. Bagian depan yang tetap (*front end stationary*) terdiri dari 5 (lima) tipe yaitu: A, B, C, D dan N. *Shell heat exchanger* terdiri dari 6 (enam) tipe yaitu: E, F, G, H, J, dan K. Bagian ujung belakang (*rear end head*) terdiri dari (delapan) tipe yaitu: L, M, N, P, S, T,U dan W.

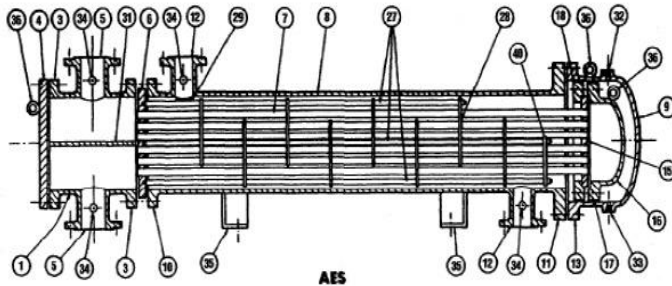


**Gambar 2.5** Kode bagian-bagian *shell and tube heat exchanger* berdasarkan TEMA standar

Sumber : Byrne, 2007



Berikut salah satu contoh konstruksi *shell and tube heat exchanger* tipe AES (Byrne, 2007).



- |   |  |
|---|--|
| 1. Stationary Head-Channel                  | 21. Floating Head Cover-External         |
| 2. Stationary Head-Bonnet                   | 22. Floating Tubesheet Skirt             |
| 3. Stationary Head Flange-Channel or Bonnet | 23. Packing Box                          |
| 4. Channel Cover                            | 24. Packing                              |
| 5. Stationary Head Nozzle                   | 25. Packing Gland                        |
| 6. Stationary Tubesheet                     | 26. Lantern Ring                         |
| 7. Tubes                                    | 27. Tierods and Spacers                  |
| 8. Shell                                    | 28. Transverse Baffles or Support Plates |
| 9. Shell Cover                              | 29. Impingement Plate                    |
| 10. Shell Flange-Stationary Head End        | 30. Longitudinal Baffle                  |
| 11. Shell Flange-Rear Head End              | 31. Pass Partition                       |
| 12. Shell Nozzle                            | 32. Vent Connection                      |
| 13. Shell Cover Flange                      | 33. Drain Connection                     |
| 14. Expansion Joint                         | 34. Instrument Connection                |
| 15. Floating Tubesheet                      | 35. Support Saddle                       |
| 16. Floating Head Cover                     | 36. Lifting Lug                          |
| 17. Floating Head Cover Flange              | 37. Support Bracket                      |
| 18. Floating Head Backing Device            | 38. Weir                                 |
| 19. Split Shear Ring                        | 39. Liquid Level Connection              |
| 20. Slip-on Backing Flange                  | 40. Floating Head Support                |

**Gambar 2.6** Konstruksi *shell and tube heat exchanger* tipe AES

Sumber : Byrne, 2007

## 2.4 Pemodelan *Heat Exchanger*

Terdapat dua macam pemodelan matematis pada *heat exchanger*, yaitu dengan model distribusi dan model *lumped parameter*. Umumnya, evaluasi kinerja *heat exchanger* menggunakan model *lumped parameter* (G. D. Massada, 1982). *Steady state lumped parameter* dapat dimodelkan dengan menggunakan persamaan neraca panas dan perpindahan panas

(Subramanian R. S., 2010). Berikut persamaan neraca panas dengan asumsi tidak ada panas yang hilang.

$$Q_c = Q_h \quad (2.1)$$

dimana,

$Q_c$  = Panas yang diterima oleh fluida dingin (J/s)

$Q_h$  = Panas yang diterima oleh fluida panas (J/s)

Persamaan untuk panas yang diterima oleh fluida dingin, sebagai berikut :

$$Q_c = m_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.2)$$

dimana,

$m_c$  = Laju aliran massa pada fluida dingin (kg/s)

$c_{p,c}$  = Kalor jenis pada fluida dingin (J/kg. K)

$T_{c,i}$  = Temperatur masuk pada fluida dingin (°C)

$T_{c,o}$  = Temperatur keluar pada fluida dingin (°C)

Persamaan untuk panas yang dilepas oleh fluida panas, sebagai berikut :

$$Q_h = m_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2.3)$$

dimana,

$m_h$  = Laju aliran massa pada fluida panas (kg/s)

$c_{p,h}$  = Kalor jenis pada fluida panas (J/kg. K)

$T_{h,i}$  = Temperatur masuk pada fluida panas (°C)

$T_{h,o}$  = Temperatur keluar pada fluida panas (°C)

Selain persamaan diatas, untuk menghitung laju perpindahan panas pada *heat exchanger* juga dapat menggunakan persamaan laju perpindahan panas dengan fungsi koefisien perpindahan panas menyeluruh (U), perbedaan temperatur ( $\Delta T_m$ )

dan luas permukaan perpindahan panas (A), sebagai berikut (Ramesh L. Shah, 2003):

$$Q = U A \Delta T_m \quad (2.4)$$

dimana,

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m<sup>2</sup>K)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>)

$\Delta T_m$  = Perbedaan temperatur (°C)

LMTD = *Log Mean Temperature Difference*

Perbedaan temperatur ( $\Delta T_m$ ) dapat ditentukan dengan persamaan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) dan faktor koreksi ( $F_T$ ), sebagai berikut (Kern, 1983) :

$$\Delta T_m = F_T \times LMTD \quad (2.5)$$

*Log Mean Temperature Difference* (LMTD) merupakan rata – rata perbedaan temperatur antara fluida panas dan fluida dingin. LMTD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Kern, 1983):

$$LMTD = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left( \frac{(T_{h,i} - T_{c,o})}{(T_{h,o} - T_{c,i})} \right)} \quad (2.6)$$

Faktor koreksi ( $F$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan, sebagai berikut (Kern, 1983):

$$F_T = \frac{\sqrt{(R^2 + 1)} \ln(1 - S / (1 - RS))}{(R - 1) \ln \left( \frac{2 - S(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - S(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})} \right)} \quad (2.7)$$

dengan,

$$R = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{c,o} - T_{c,i}} \quad (2.8)$$

dan

$$S = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad (2.9)$$

dimana,

$LMTD$  = Log Mean Temperature Difference

$F_T$  = Faktor koreksi

$R, S$  = Faktor efisiensi temperatur

Berdasarkan persamaan (2.4), maka persamaan koefisien perpindahan panas pada kondisi aktual dapat ditulis, sebagai berikut (Kern, 1983):

$$U_A = \frac{Q}{A \Delta T_m} \quad (2.10)$$

dimana,

$U_A$  = Koefisien perpindahan panas pada kondisi aktual  
( $W/m^2 \cdot K$ )

## 2.5 Koefisien Perpindahan Panas

Koefisien perpindahan panas bergantung pada karakteristik fisik fluida dan data operasi yang selalu berubah. Berikut merupakan persamaan koefisien perpindahan panas secara empiris.

### 2.5.1 Koefisien Perpindahan Panas pada Sisi Tube

Perpindahan panas pada sisi *tube* dengan menggunakan persamaan *Petukhov-Kirillov*, sebagai berikut (Sadik Kakac, 2002):

$$h_i = \frac{k_T x N_{u,T}}{d_i} \quad (2.11)$$

dimana,

- $h_i$  = Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* (W/m<sup>2</sup>. K)  
 $k_T$  = Koefisien konduktifitas panas pada sisi *tube* (W/m. K)  
 $N_{u,T}$  = Bilangan *nusselt*  
 $d_i$  = Diameter dalam pada sisi *tube* (m)

Bilangan *nusselt* tergantung dari banyaknya faktor, diantaranya adalah kondisi aliran sistem tersebut. Besarnya bilangan *nusselt* dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut (Sadik Kakac, 2002):

- a. Untuk aliran dengan  $Re > 10^4$

$$N_{u,T} = 0,23 Re,T^{0,8} Pr,T^{1/3} \left( \frac{\mu_T}{\mu_{T,w}} \right)^{0,14} \quad (2.12)$$

- b. Untuk aliran dengan  $2100 < Re < 10^4$

$$N_{u,T} = 0,116 \left( Re,T^{2/3} - 125 \right) Pr,T^{1/3} \left( \frac{\mu_T}{\mu_{T,w}} \right)^{0,14} \left( 1 + \left( \frac{d_i}{L} \right)^{2/3} \right) \quad (2.13)$$

- c. Untuk aliran dengan  $Re \leq 2100$

$$N_{u,T} = 0,186 \left( \frac{Re,T d_i Pr,T}{L} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu_T}{\mu_{T,w}} \right)^{0,14} \quad (2.14)$$

dimana,

- $Re,T$  = Bilangan *reynold* pada sisi *tube*  
 $d_i$  = Diameter dalam pada sisi *tube* (m)  
 $Pr,T$  = Bilangan *prandtl* pada sisi *tube*  
 $L$  = Panjang per *tube* (m)  
 $\mu_T$  = Kekentalan dinamis fluida pada sisi *tube* (N. s/m<sup>2</sup>)  
 $\mu_{T,w}$  = Kekentalan dinamis fluida pada temperatur dinding *tube* (N. s/m<sup>2</sup>)

### 2.5.2 Koefisien Perpindahan Panas pada Sisi *Shell*

Untuk menghitung perpindahan panas pada sisi *shell* berdasarkan bentuk *baffle* dapat dibedakan sebagai berikut

a. Perpindahan panas pada sisi *shell* untuk *segmental baffle*

Untuk menghitung perpindahan panas pada sisi *shell* dengan *segmental baffle* menggunakan metode *Bell-Delaware*. Metode *Bell-Delaware* merupakan salah satu metode untuk menghitung perpindahan panas pada sisi *shell*, dimana pada metode ini mempertimbangkan arah aliran. Berikut merupakan persamaan perpindahan panas pada sisi *shell* dengan menggunakan metode *Bell-Delaware* (Sadik Kakac, 2002):

$$h_o = J_i \times C_{p,s} \times \frac{m_s}{A_s} \times \left( \frac{K_s}{C_{p,s} \times \mu_s} \right)^{2/3} \times \left( \frac{\mu_s}{\mu_{s,w}} \right)^{0,14} \quad (2.15)$$

dengan faktor *ideal Coulburn j* ( $J_i$ ), sebagai berikut (Sadik Kakac, 2002):

- untuk aliran dengan  $1 \leq R_{e,s} < 100$

$$J_i = 1,730 R_{e,s}^{-0,694} \quad (2.16)$$

- untuk aliran dengan  $100 \leq R_{e,s} < 1000$

$$J_i = 0,717 R_{e,s}^{-0,574} \quad (2.17)$$

- untuk aliran dengan  $1000 \leq R_{e,s}$

$$J_i = 0,236 R_{e,s}^{-0,346} \quad (2.18)$$

b. Perpindahan panas pada sisi *shell* untuk *helical baffle*

*Helical baffle* digunakan untuk menambah aliran turbulensi pada fluida dengan cara menaikkan koefisien perpindahan panas. Berikut merupakan persamaan pada perpindahan panas sisi *shell* untuk *helical baffle*, sebagai berikut (Sadik Kakac, 2002):

$$h_o = \frac{N_{u,s} k_s}{d_o} \quad (2.19)$$

dengan,

$$N_{u,s} = 0,0451 Re_{e,s}^{0,699} Pr_{e,s}^{1/3} \quad (2.20)$$

dimana,

$h_o$  = Koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* (W/m<sup>2</sup>. K)

$J_i$  = Faktor ideal *coulburn j* ( $J_i$ )

$C_{p,s}$  = Kalor jenis pada sisi *shell* (J/kg. K)

$m_s$  = Laju aliran massa pada sisi *shell* (kg/s)

$A_s$  = Luas permukaan *shell* (m<sup>2</sup>)

$k_s$  = Koefisien konduktifitas panas pada sisi *shell* (W/m. K)

$\mu_s$  = Kekentalan dinamis fluida pada sisi *shell* (N. s/m<sup>2</sup>)

$\mu_{s,w}$  = Kekentalan dinamis fluida pada temperatur dinding  
(N. s/m<sup>2</sup>)

$Pr_{e,s}$  = Bilangan *prandtl* pada sisi *shell*

$d_o$  = Diameter luar pada sisi *tube* (m)

$Re_{e,s}$  = Bilangan *reynold* pada sisi *shell*

## 2.6 Fouling

*Fouling* dapat didefinisikan sebagai terbentuknya deposit pada permukaan peralatan proses yang dapat menghambat perpindahan panas dan meningkatkan hambatan aliran fluida pada peralatan proses tersebut. Lapisan *fouling* dapat berasal dari partikel-partikel atau senyawa lainnya yang tersangkut oleh aliran fluida. Berikut merupakan persamaan *fouling resistance* ( $R_f$ ), (Kern, 1983):

$$R_f(t) = \frac{1}{U_a(t) - U_c(t)} \quad (2.21)$$

dimana,

$R_f(t)$  = *Fouling resistance* (m<sup>2</sup>. K/W)

$U_a(t)$  = Koefisien perpindahan panas pada kondisi aktual  
(W/m<sup>2</sup>.K)

$U_c(t)$  = Koefisien perpindahan panas pada kondisi bersih  
(W/m<sup>2</sup>.K)

## 2.7 Evolution Strategies

*Evolution strategies* (ES) merupakan salah satu metode optimasi yang paling umum digunakan dari algoritma evolusioner (*evolutionary algorithms*) (Runarsson, 2001). ES berorientasi pada prinsip biologi dari evolusi. Tiga mekanisme utama dari algoritma *evolution strategies* yaitu inisialisasi, mutasi, dan seleksi. Inisialisasi adalah pembangkitan populasi ( $\mu$ ). Sedangkan mutasi merupakan perubahan acak pada kandidat solusi sebelumnya. Kualitas dari tiap individu untuk memecahkan masalah optimasi disebut dengan *fitness*. *Fitness* dari generasi solusi yang baru kemudian dievaluasi dengan fungsi *fitness*,  $f(x)$ . Semua individu dari suatu generasi kemudian dikategorikan dalam populasi keturunan ( $\lambda$ ). Kemudian individu-individu tersebut dipilih dan menjadi populasi dari generasi selanjutnya ( $\rho$ ) (O. Kramer, 2014).

ES dan *genetic algorithm* (GA) sebenarnya serupa. Namun yang membedakan dengan *genetic algorithm* yaitu *genetic algorithm* menggunakan *crossover* sebagai operator reproduksi utama dan mutasi sebagai operator penunjang, ES lebih bertumpu pada operator mutasi. Mekanisme *self adaption* digunakan untuk mengontrol perubahan nilai parameter pencarian. Perbedaan lainnya yaitu mutasi pada GA digunakan untuk menghasilkan keturunan (*offspring*) sebagai tambahan pada *offspring* yang diproduksi oleh operator *crossover*. Pada ES, mutasi diterapkan pada *offspring* yang dihasilkan proses rekombinasi. Rekombinasi pada ES mirip dengan operator *crossover* pada GA namun rekombinasi dapat menggunakan lebih dari satu induk. Karena ES lebih mengandalkan operator mutasi, maka proses rekombinasi tidak selalu digunakan.

Terdapat beberapa tahapan dalam ES, diantaranya yaitu (Mahmudy, 2013):

a. Inisialisasi



Variabel keputusan  $(x_1, \dots, x_N)$  merupakan gen string *chromosome*. Selain gen yang menyatakan variabel keputusan, parameter tambahan lain pada setiap *chromosome* ( $\rho$ ) adalah  $\sigma$ . Nilai ini menyatakan level mutasi untuk *chromosome* tersebut. Nilai ini akan ikut berubah secara adaptif sepanjang generasi. Satu kromosom dengan dua string dapat ditulis dengan  $\rho(x_1, \sigma_1)$ . Pada proses inisialisasi, populasi dibangkitkan secara *random*. Nilai  $\sigma$  dibangkitkan dalam rentang  $(0,1)$ .

b. Mutasi

Karena ES lebih bertumpu pada mutasi, maka untuk menghasilkan *offspring* pada ES tidak digunakan rekombinasi. Untuk menghasilkan  $\rho'$  digunakan rumus sebagai berikut:

$$x' = x + \sigma N(0,1) \quad (2.22)$$

$N(0,1)$  adalah notasi distribusi normal (distribusi Gaussian) dengan rata-rata 0 dan standar deviasi 1.

Berdasarkan Schwefel,  $N(0,1)$  dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$N(0,1) = \sqrt{-2 \ln r_1 \sin \pi r_2} \quad (2.23)$$

keterangan  $r_1$  dan  $r_2$  merupakan bilangan acak pada interval  $(0,1)$ .

c. Seleksi

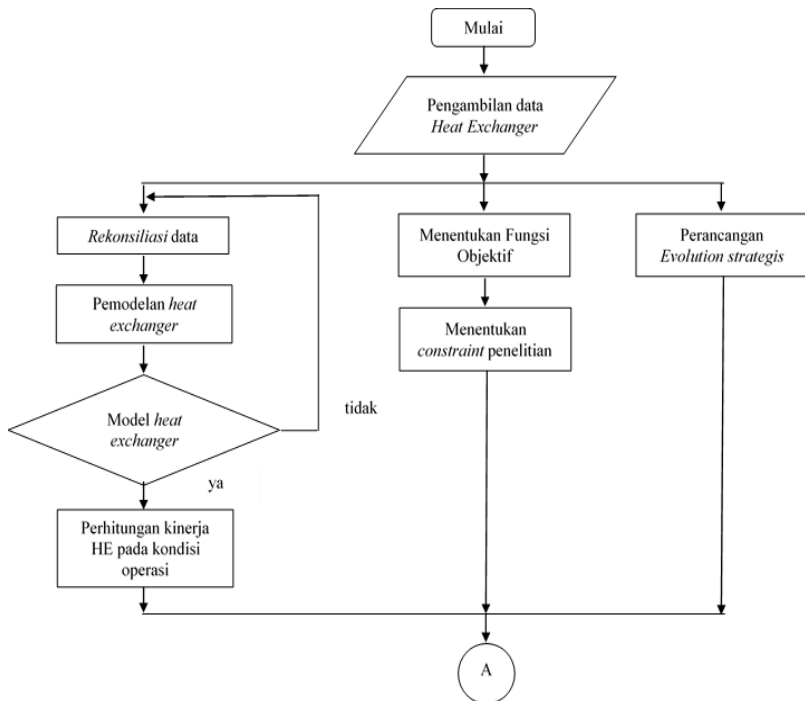
Seleksi dilakukan berdasarkan *fitness* individu,  $f(x)$ . Hanya individu terbaik dari populasi yang dapat bertahan. Pendekatan paling umum berdasarkan *rank* individual dari *fitness function*. Jadi semakin besar nilai  $f(x)$  suatu *chromosome*, maka semakin tinggi urutan (*rank*) individual tersebut. Hal ini akan mengakibatkan peluang individu tersebut masuk dalam populasi terpilih akan semakin besar.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

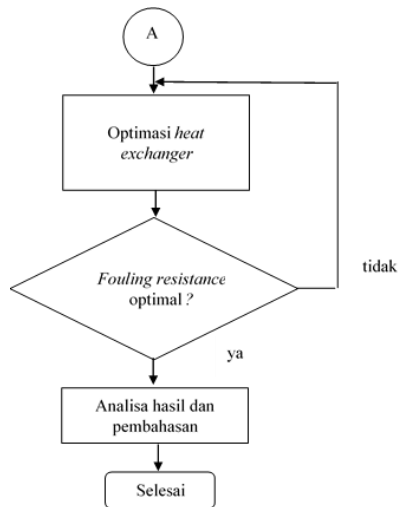
### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan mulai dari pengambilan data *heat exchanger* 101-E-527B, rekonsiliasi data, pemodelan *heat exchanger*, perhitungan koefisien perpindahan panas sampai dengan optimasi kondisi operasi untuk mengurangi *fouling* pada *heat exchanger* dengan menggunakan *evolution strategies* yang kemudian dilakukan analisa. Tahapan penelitian tugas akhir ini dapat digambarkan dalam diagram alir seperti pada gambar dibawah ini :



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian



**Gambar 3.2** Diagram alir penelitian (lanjutan)

### 3.1 Pengambilan Data

Langkah pertama dan yang paling sering dilakukan dalam suatu penelitian adalah pengambilan data. Pada penelitian ini data yang diambil berupa data desain dan data operasi pada *heat exchanger* 101-E-527B. Adapun data desain dan data operasi yang diperlukan, sebagai berikut:

- a. *Process Flow Diagram* (PFD) Unit RFCC, *Piping & Instrumentation Diagram* (P&ID) Unit RFCC, data desain serta data *drawing* dari *heat exchanger* 101-E-527B di Unit RFCC
- b. Data operasi dari *heat exchanger* di Unit RFCC, yang meliputi :
  - Temperatur *inlet* dan *outlet* pada sisi *shell*
  - Temperatur *inlet* dan *outlet* pada sisi *tube*
  - Volume *flow rate* pada sisi *shell* dan *tube*
- c. Data propertis fluida pada sisi *shell* dan *tube* dari *heat exchanger*, yang meliputi :
  - Massa jenis fluida pada sisi *shell* dan *tube*
  - *Heat capacity* fluida pada sisi *shell* dan *tube*

- Viskositas fluida pada sisi *shell* dan *tube*
- Koefisien konduktifitas panas pada sisi *shell* dan *tube*

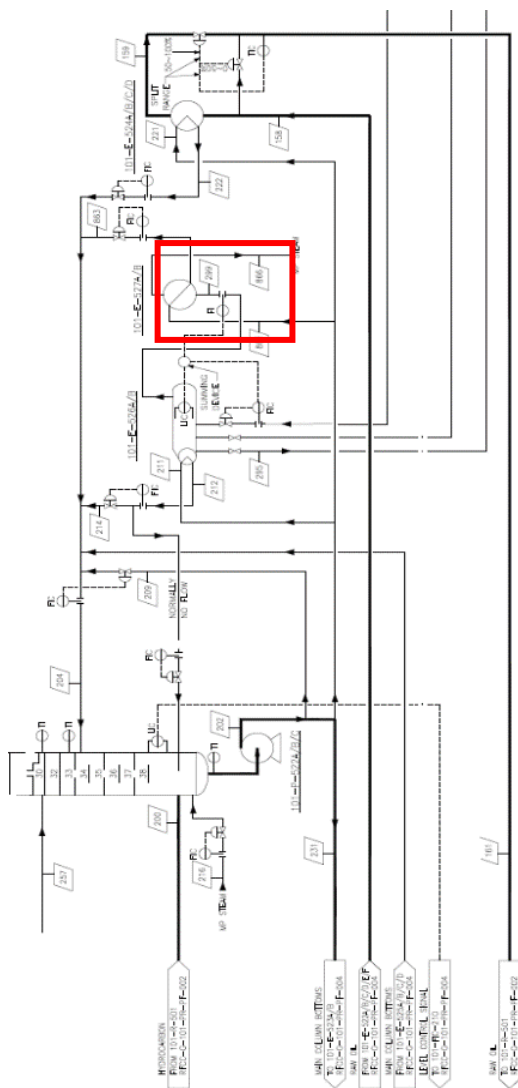
Pada Tugas Akhir ini, data operasi yang digunakan adalah data rata-rata harian mulai tanggal 1 Januari 2016 sampai dengan 8 Juni 2016. Data operasi didapatkan dari *database* pada *Distributed Control System* di ruang *Main Control Room* RFCC Unit dengan skema diagram dan *tag number* seperti pada Gambar 3.3. Sedangkan PFD dan P&ID dari *heat exchanger* 101-E-527B terlampir pada lampiran B dan C.

**Tabel 3.1** *Tag number* pada pengumpulan data di DCS

<i>Heat Exchanger</i>	Deskripsi	Unit	<i>Tag Number</i>
101-E527B	Temperatur masukan bagian <i>shell</i>	°C	101_TI225.PV
	Temperatur keluaran bagian <i>shell</i>	°C	101_TI256.PV
	Volume <i>flow rate</i> bagian <i>shell</i>	<i>T/H</i>	101_FI217.PV
	Temperatur masukan bagian <i>tube</i>	°C	101_TI242.PV
	Temperatur keluaran bagian <i>tube</i>	°C	101_TI255.PV
	Volume <i>flow rate</i> bagian <i>tube</i>	<i>m<sup>3</sup>/H</i>	101_FIC214.PV

### 3.2 Rekonsiliasi Data

Umumnya data operasi suatu *plant* yang ter-*record* pada DCS tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hal ini dapat disebabkan karena adanya *error*, baik pada saat pengukuran, pengolahan dan transmisi sinyal pengukuran sehingga perhitungan perpindahan energi panas tidak sama / *balance*. Maka sebelum data operasional tersebut diolah, sebaiknya dilakukan rekonsiliasi data. Rekonsiliasi data merupakan salah satu metode untuk meminimalkan deviasi antara hasil pengukuran dengan hasil yang sebenarnya.



### Gambar 3.3 Skema diagram heat exchanger

Adapun persamaan rekonsiliasi data pada *heat exchanger*, sebagai berikut

$$\min f(x) = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x}_i)^2}{\sigma^2} \quad (3.1)$$

dimana,

- $x$  = Nilai rekonsiliasi
- $\bar{x}$  = Nilai yang terukur
- $\sigma$  = Standar deviasi

### 3.3 Pemodelan *Heat Exchanger*

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir ini, maka dilakukan pemodelan *heat exchanger*. Pemodelan *heat exchanger* bertujuan agar perhitungan kinerja *heat exchanger* pada saat kondisi operasi mendekati kinerja *heat exchanger* pada kondisi yang sesungguhnya (representasi sistem). Dengan asumsi *heat exchanger* dalam keadaan *steady state* dan panas yang diserap oleh dinding pipa diabaikan maka pemodelan *heat exchanger* pada tugas akhir ini menggunakan persamaan matematis yang meliputi, kesetimbangan energi pada sisi *shell* dan *tube*. Adapun persamaan pemodelan *heat exchanger* diperoleh dari persamaan (2.1), (2.2), (2.3), sebagai berikut

$$Q_c = Q_h$$

$$m_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) = m_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (3.2)$$

dimana,

- $m_c$  = Laju aliran massa pada fluida dingin (kg/s)
- $m_h$  = Laju aliran massa pada fluida panas (kg/s)
- $c_{p,c}$  = Kalor jenis pada fluida dingin (J/kg. K)
- $c_{p,h}$  = Kalor jenis pada fluida panas (J/kg. K)
- $T_{c,i}$  = Temperatur masuk pada fluida dingin (°C)
- $T_{c,o}$  = Temperatur keluar pada fluida dingin (°C)
- $T_{h,i}$  = Temperatur masuk pada fluida panas (°C)
- $T_{h,o}$  = Temperatur keluar pada fluida panas (°C)

$Q_c$  = Panas yang diterima oleh fluida dingin (J/s)

$Q_h$  = Panas yang dilepas oleh fluida panas (J/s)

### 3.4 Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Sisi *Shell* dan *Tube*

Setelah mendapatkan pemodelan *heat exchanger* yang sesuai, maka dilanjutkan dengan perhitungan kinerja *heat exchanger* tersebut. Perhitungan kinerja *heat exchanger* pada kondisi operasi melibatkan perhitungan koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* dan *tube*. Adapun persamaan koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* dan *tube*, sebagai berikut :

a. Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube*

Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* merupakan koefisien perpindahan panas yang terjadi di dalam *tube* dengan fluida yang mengalir adalah *main column bottom* (MCB). Adapun persamaan koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* diperoleh dari persamaan (2.11), sebagai berikut :

$$h_i = \frac{k_T x N_{u,T}}{d_i} \quad (3.3)$$

dimana,

$d_i$  = Diameter dalam pada sisi *tube* (m)

$h_i$  = Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* ( $W/m^2 \cdot K$ )

$k_T$  = Koefisien konduktifitas panas pada sisi *tube* (W/mK)

$N_{u,T}$  = Bilangan *nusselt* pada sisi *tube*

Persamaan bilangan *nusselt* pada sisi *tube* dapat dilihat pada persamaan (2.12), (2.13), (2.14)

b. Koefisien perpindahan panas pada sisi *shell*

Koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* merupakan koefisien perpindahan panas yang terjadi di dalam *shell* dengan fluida yang mengalir adalah *medium pressure steam* (MPS). Adapun persamaan koefisien perpindahan panas pada sisi *shell*



dengan menggunakan metode *Bell-Delaware* diperoleh dari persamaan (2.15), sebagai berikut :

$$h_o = J_i \times C_{p,s} \times \frac{m_s}{A_s} \times \left( \frac{K_s}{C_{p,s} \times \mu_s} \right)^{2/3} \quad (3.4)$$

dimana,

$A_s$  = Luas permukaan *shell* ( $m^2$ )

$C_{p,s}$  = Kalor jenis pada sisi *shell* (J/kg. K)

$h_o$  = Koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* ( $W/m^2 \cdot K$ )

$J_i$  = Faktor ideal *Coulburn j* ( $J_i$ )

$k_s$  = Koefisien konduktifitas panas pada sisi *shell* ( $W/m \cdot K$ )

$m_s$  = Laju aliran massa pada sisi *shell* (kg/s)

$\mu_s$  = Kekentalan dinamis fluida pada sisi *shell* ( $N \cdot s/m^2$ )

Persamaan faktor ideal *Coulburn j* dapat dilihat pada persamaan (2.16), (2.17), (2.18)

### 3.5 Penentuan Fungsi Objektif

Fungsi objektif merupakan nilai yang harus dimaksimalkan ataupun diminimalkan. Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk meminimalkan *fouling* pada *heat exchanger*. *Fouling* pada *heat exchanger* dapat dimodelkan dengan menggunakan persamaan *fouling resistance*. Sehingga fungsi objektif yang digunakan pada penelitian ini dapat dinyatakan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\min R_f(t) = \sum \left( \frac{1}{U_a(t)} - \frac{1}{U_c(t)} \right) \quad (3.5)$$

dimana,

$R_f(t)$  = *Fouling resistance* ( $m^2 \cdot K/W$ )

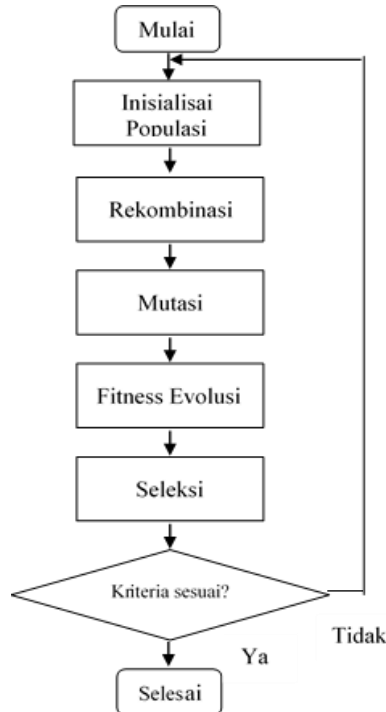
$U_a(t)$  = Koefisien perpindahan panas pada kondisi aktual ( $W/m^2 \cdot K$ )

$U_c(t)$  = Koefisien perpindahan panas pada kondisi bersih ( $W/m^2 \cdot K$ )

Persamaan koefisien perpindahan panas pada kondisi aktual dapat dilihat pada persamaan (2.10)

### 3.6 Optimasi Menggunakan *Evolution Strategis*

Setelah fungsi objektif didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah optimasi kondisi operasi sehingga *fouling* pada *heat exchanger* dapat berkurang / minimal dengan menggunakan metode *evolution strategis*. Berikut merupakan diagram alir dari optimasi dengan menggunakan *evolution strategis*.



**Gambar 3.4** Diagram alir *evolution strategis*

Pada penelitian ini terdapat 4 variabel yang diubah, yaitu temperatur keluaran sisi *shell* ( $T_{c,out}$ ), temperatur keluaran sisi *tube*

( $T_{H,out}$ ), *flowrate* pada sisi *shell* ( $V_{shell}$ ) dan *flowrate* pada sisi *tube* ( $V_{tube}$ ). Nilai *mutation rate* yang digunakan adalah 0,075 dengan *population size* sebesar 100. Hasil individu dengan *fitness* terbesar akan menjadi solusi terbaik pada penelitian ini dengan menghasilkan fungsi objektif, yaitu *fouling resistance*, yang minimal.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

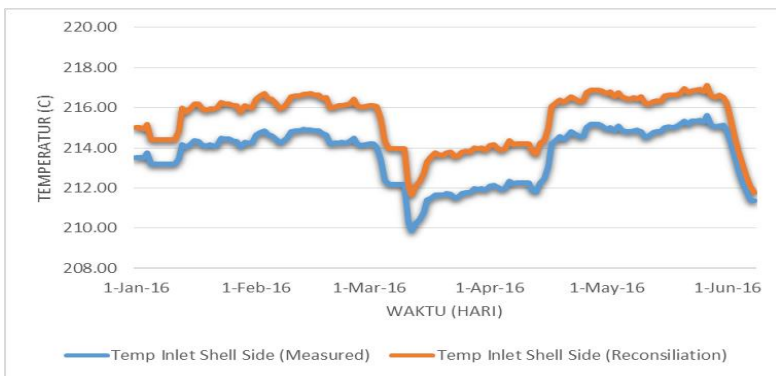
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

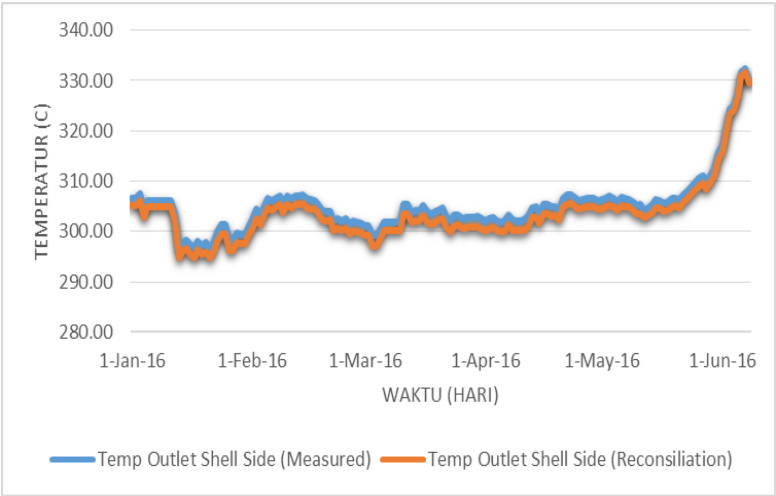
#### 4.1 Hasil Rekonsiliasi Data

Besarnya laju perpindahan panas berdasarkan hasil pengukuran pada tanggal 1 Januari 2016 sampai dengan 8 Juni 2016 antara sisi *shell* dan sisi *tube* pada *heat exchanger* 101-E-527B tidak seimbang. Hal ini dikarenakan pada *heat exchanger* tersebut memiliki kondisi operasi yang dinamik sehingga menimbulkan *error*, baik pada saat pengukuran, perhitungan maupun pada transmisi sinyal pengukuran. Ketidakseimbangan antara laju perpindahan panas pada sisi *shell* dan *tube* akan menimbulkan permasalahan pada saat memodelkan *heat exchanger*. Oleh karena itu, perlu adanya rekonsiliasi data.

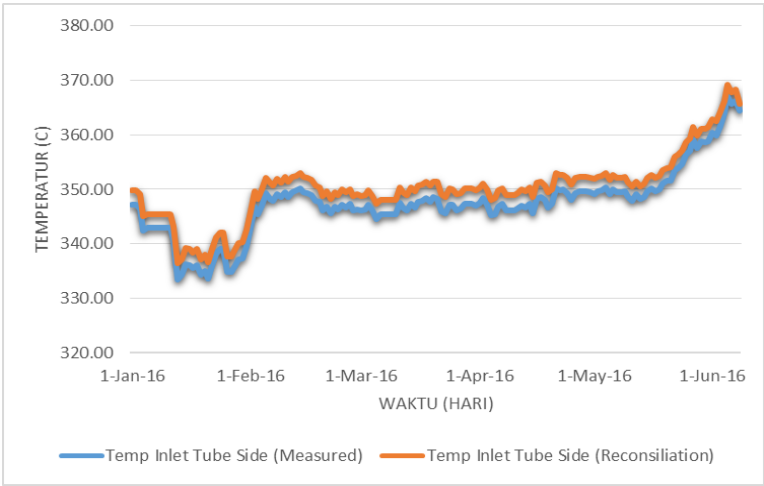
Data yang direkonsiliasi terdiri dari temperatur masukan dan temperatur keluaran pada sisi *shell*, temperatur masukan dan temperatur keluaran pada sisi *tube*, *mass flow rate* pada sisi *shell* dan *mass flow rate* pada sisi *tube*. Berikut merupakan hasil rekonsiliasi data temperatur masukan dan temperatur keluaran pada sisi *shell* serta temperatur masukan dan temperatur keluaran pada sisi *tube* pada tanggal 1 Januari 2016 sampai dengan tanggal 8 Juni 2016.



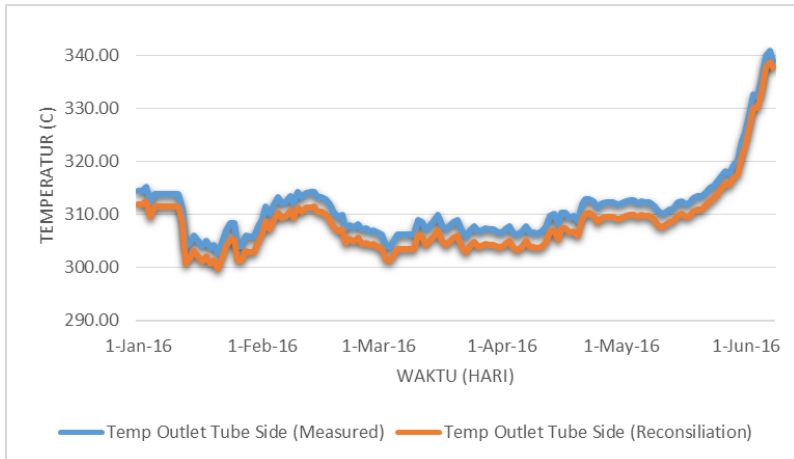
**Gambar 4.1** Temperatur masukan MPS pada sisi *shell* berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi



**Gambar 4.2** Temperatur keluaran MPS pada sisi *shell* berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi

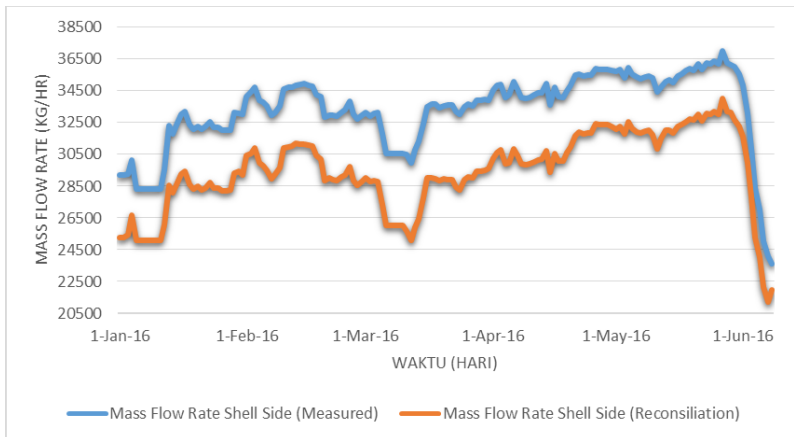


**Gambar 4.3** Temperatur masukan MCB pada sisi *tube* berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi

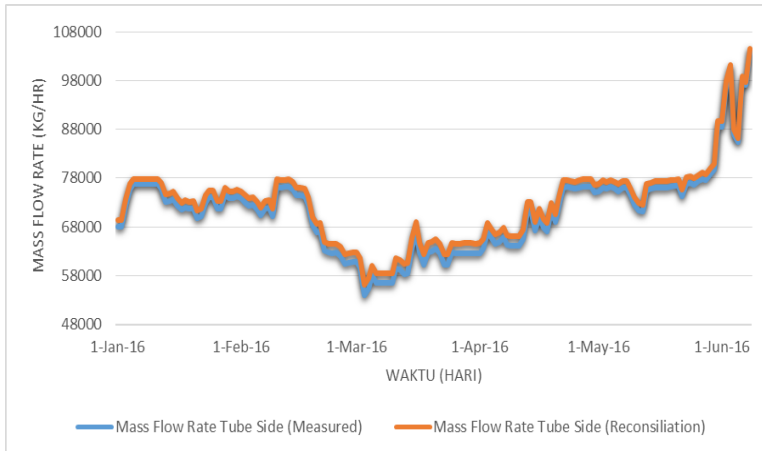


**Gambar 4.4** Temperatur keluaran MCB pada sisi *tube* berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi

Sedangkan hasil rekonsiliasi data *mass flow rate* pada sisi *shell* dan *tube* tanggal 1 Januari 2016 sampai dengan tanggal 8 Juni 2016, sebagai berikut



**Gambar 4.5** *Mass flow rate* MPS pada sisi *shell* berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi



**Gambar 4.6** *Mass flow rate* MCB pada sisi *tube* berdasarkan hasil pengukuran dan hasil rekonsiliasi

Berdasarkan Gambar 4.1, Gambar 4.3 dan Gambar 4.6, temperatur masukan pada sisi *shell* dan *tube* serta *mass flow rate* pada sisi *tube* setelah direkonsiliasi lebih besar dibandingkan dengan temperatur masukan pada sisi *shell* dan *tube* serta *mass flow rate* pada sisi *tube* hasil pengukuran. Sedangkan berdasarkan Gambar 4.2, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5, temperatur keluaran pada sisi *shell* dan *tube* serta *mass flow rate* pada sisi *shell* setelah direkonsiliasi lebih kecil dibandingkan dengan temperatur keluaran pada sisi *shell* dan *tube* serta *mass flow rate* sisi *shell* hasil pengukuran. Adapun rata-rata perbedaan temperatur berdasarkan hasil pengukuran dan setelah direkonsiliasi antara temperatur masukan pada sisi *shell*, temperatur keluaran pada sisi *shell*, temperatur masukan pada sisi *tube*, temperatur keluaran pada sisi *tube* antara lain 1,7153 °C ; 1,7195 °C ; 2,7146 °C ; 2,6918 °C.

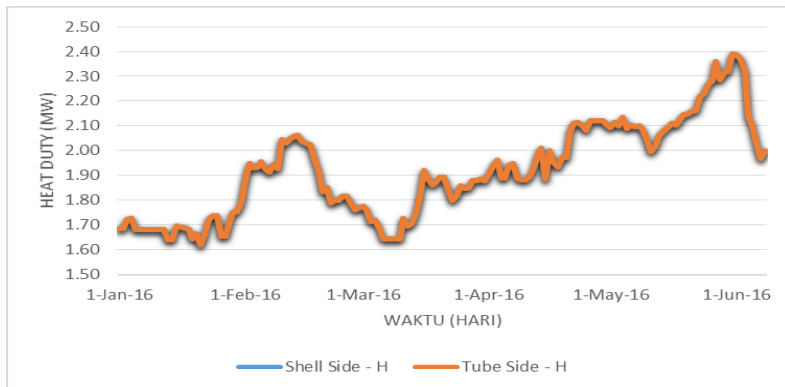
Berdasarkan Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.6, terlihat bahwa perbedaan yang paling besar antara hasil pengukuran dan setelah direkonsiliasi terletak pada temperatur masukan pada sisi *shell* dan *mass flow rate* pada sisi *shell*. Besarnya perbedaan temperatur antara hasil pengukuran dan setelah direkonsiliasi serta besarnya perbedaan *mass flow rate* hasil



pengukuran dan setelah direkonsiliasi disebabkan karena kondisi *heat exchanger* tersebut berada pada kondisi dinamik sehingga menimbulkan *error*, baik pada saat pengukuran dan transmisi sinyal.

## 4.2 Hasil Pemodelan *Heat Exchanger*

Pada pemodelan *heat exchanger* digunakan persamaan kesetimbangan energi panas dengan asumsi *heat exchanger* dalam keadaan *steady state* serta tidak ada panas yang hilang selama proses berlangsung. Berikut merupakan hasil pemodelan *heat exchanger* 101-E-527B berdasarkan data operasional pada tanggal 1 Januari 2016 sampai dengan tanggal 8 Juni 2016.



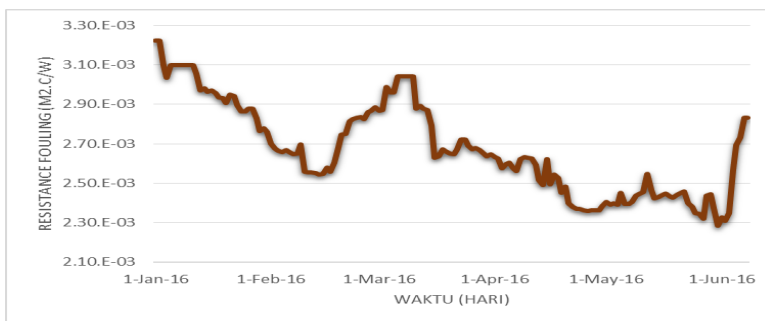
**Gambar 4.7** Laju perpindahan panas sisi *shell* dan *tube* setelah direkonsiliasi

Berdasarkan Gambar 4.7, diketahui bahwa besarnya laju perpindahan panas sisi *shell* sama dengan besarnya laju perpindahan panas sisi *tube* dengan rata-rata *error* pada pemodelan sebesar 0%. *Error* pada pemodelan sebesar 0% didapatkan karena data yang digunakan dalam pemodelan merupakan data hasil rekonsiliasi dimana efek *error* akibat kondisi operasi yang dinamik berhasil direduksi. Sehingga pemodelan *heat exchanger* 101-E-527B dapat dikatakan valid.

### 4.3 Hasil Perhitungan *Fouling Resistance* Sebelum Dioptimasi

Gambar 4.8 merupakan hasil perhitungan *fouling resistance* pada *heat exchanger* 101-E-527B sebelum dioptimasi pada tanggal 1 Januari 2016 sampai dengan 8 Juni 2016. Terlihat bahwa *fouling resistance* mengalami fluktuatif terhadap waktu. Hal ini disebabkan karena temperatur dan *flow rate* yang masuk pada *heat exchanger* 101-E-527B berada pada kondisi yang dinamik sehingga hasil yang didapatkan pada *fouling resistance* juga mengalami fluktuatif.

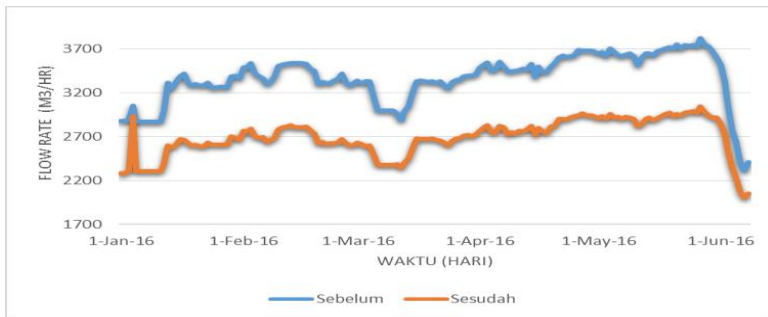
Pada *heat exchanger* 101-E-527B, fluida pada sisi *shell* adalah *medium pressure steam* (MPS) sedangkan fluida pada sisi *tube* berupa katalis yang terdiri dari campuran *naphta*, *lean gas*, *amine* dimana ketiga campuran katalis termasuk tergolong kedalam hidrokarbon fraksi berat yang berpotensi menimbulkan *fouling*. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan *fouling resistance* pada *heat exchanger* 101-E-527B seperti pada Gambar 4.8 dengan rata-rata *fouling resistance* sebesar  $0,00267 \text{ m}^2\text{C/W}$ . Apabila hal ini dibiarkan dan dengan fluida *tube* yang berpotensi menimbulkan *fouling* maka tidak menutup kemungkinan bahwa *fouling* pada *heat exchanger* ini semakin bertambah dan akan berdampak pada kinerja *heat exchanger* ini. Sehingga perlu adanya optimasi kondisi operasi untuk mengurangi *fouling* pada *heat exchanger* 101-E-527B.



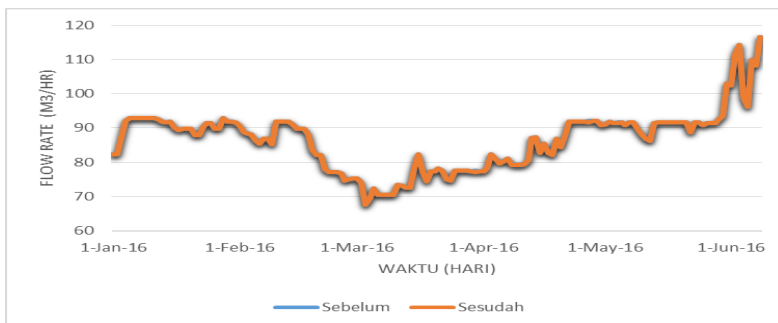
**Gambar 4.8** *Resistance fouling* pada keadaan bersih dan keadaan *fouling*

#### 4.4 Hasil Optimasi Kondisi Operasi

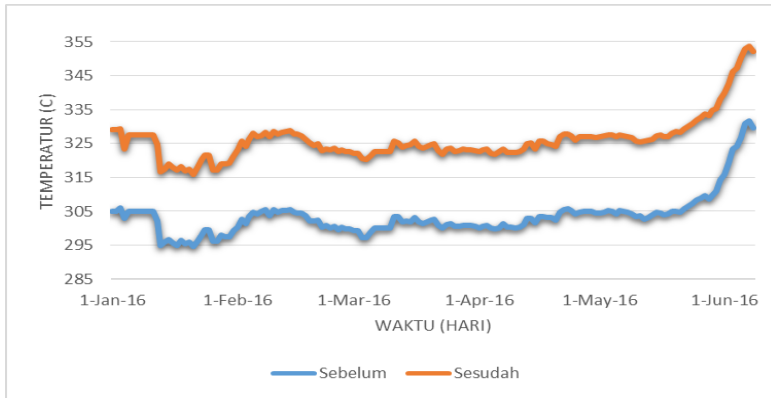
Adapun variabel-variabel yang diubah pada tugas akhir ini terdiri dari temperatur keluaran pada sisi *shell*, temperatur keluaran pada sisi *tube*, *flow rate* pada sisi *shell* dan *flow rate* pada sisi *tube*. Prinsip kerja dari optimasi ini yaitu mengendalikan *flow rate* pada sisi *shell* dan *tube* dengan temperatur masukan pada sisi *shell* dan *tube* yang tetap dengan sebelum dioptimasi sehingga didapatkan temperatur keluaran sisi *shell* dan *tube* yang berbeda. Berikut merupakan hasil optimasi temperatur keluaran pada sisi *shell* dan *tube* serta *flow rate* pada sisi *shell* dan *tube* pada tanggal 1 Januari 2016 sampai dengan tanggal 8 Juni 2016.



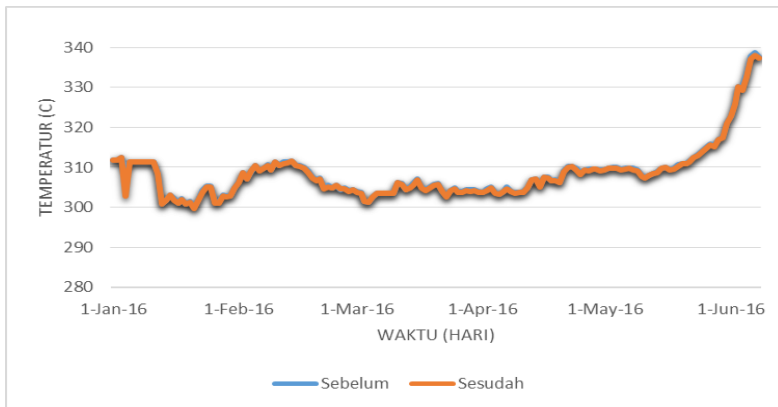
**Gambar 4.9** *Flow rate* MPS pada sisi *shell* sebelum dan sesudah dioptimasi



**Gambar 4.10** *Flow rate* MCB pada sisi *tube* sebelum dan sesudah dioptimasi



**Gambar 4.11** Temperatur keluaran MPS pada sisi *shell* sebelum dan sesudah dioptimasi



**Gambar 4.12** Temperatur keluaran MCB pada sisi *tube* sebelum dan sesudah dioptimasi

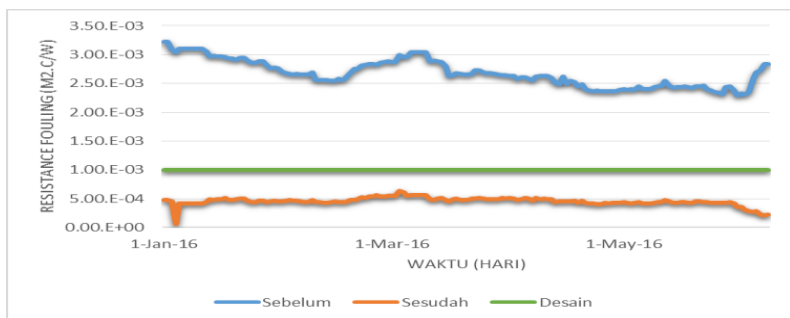
Besarnya *flow rate* pada sisi *shell* dan *tube* sesudah dioptimasi ini dapat diartikan sebagai jumlah *flow rate* pada sisi *shell* dan *tube* yang seharusnya mengalir ke dalam *heat exchanger* 101-E-527B. Berdasarkan Gambar 4.9, terlihat bahwa *flow rate* MPS pada sisi *shell* sesudah dioptimasi lebih kecil dibandingkan dengan *flow rate* pada sisi *shell* sebelum dioptimasi dengan rata-

rata perbedaan *flow rate* pada sisi *shell* sebelum dan sesudah dioptimasi sebesar  $676,0385 \text{ m}^3/\text{hr}$ . Hal ini berarti bahwa jumlah *flow rate* yang mengalir terlalu besar bila dibandingkan dengan jumlah *flow rate* yang dibutuhkan ke dalam *heat exchanger* 101-E-527B. Sedangkan berdasarkan Gambar 4.10, terlihat bahwa *flow rate* pada sisi *tube* sesudah dioptimasi hampir sama dengan *flow rate* pada sisi *tube* sebelum dioptimasi dengan rata-rata perbedaan *flow rate* pada sisi *tube* sebelum dan sesudah dioptimasi sebesar  $0,01 \text{ m}^3/\text{hr}$ .

Dengan adanya optimasi *flow rate* pada sisi *shell* dan *tube* maka akan berpengaruh terhadap temperatur keluaran pada sisi *shell* dan *tube*. Terlihat bahwa pada Gambar 4.11, temperatur keluaran pada sisi *shell* setelah dioptimasi lebih besar dibandingkan dengan temperatur keluaran pada sisi *shell* sebelum dioptimasi dengan perbedaan rata-rata sebesar  $22,546 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sedangkan pada Gambar 4.12, temperatur keluaran pada sisi *tube* setelah dioptimasi hampir sama dengan temperatur keluaran pada sisi *tube* sebelum dioptimasi dengan perbedaan rata-rata sebesar  $0,206 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 4.5 Hasil Perhitungan *Fouling Resistance* Setelah Dioptimasi

Hasil perhitungan *fouling resistance* setelah dioptimasi dapat dilihat seperti pada Gambar 4.13.



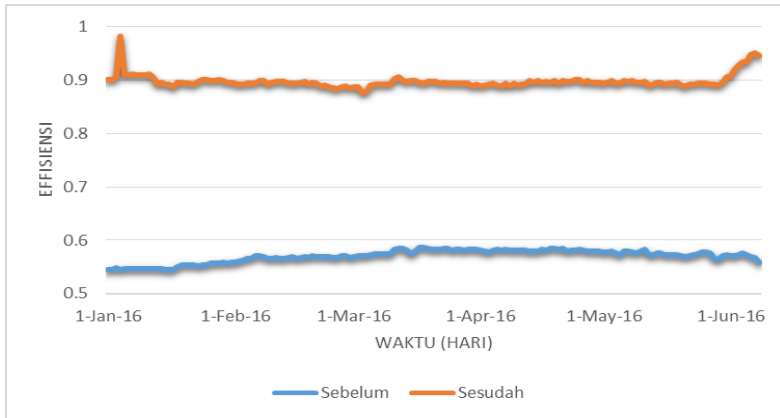
**Gambar 4.13** *Fouling resistance* pada kondisi desain, sebelum dan sesudah dioptimasi

Berdasarkan Gambar 4.13 didapatkan besarnya rata-rata *fouling resistance heat exchanger* 101-E-527B pada kondisi desain, kondisi sebelum dioptimasi dan pada kondisi setelah dioptimasi sebagai berikut  $9,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$  ;  $2,67 \times 10^{-3} \text{ m}^2\text{C/W}$  ;  $4,56 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ . Hal ini berarti bahwa *fouling resistance* pada kondisi setelah dioptimasi, yaitu dengan mengubah variabel-variabel kondisi operasi, bernilai lebih kecil bila dibandingkan dengan *fouling resistance* pada *heat exchanger* dalam kondisi desain dan sebelum dioptimasi.

*Fouling resistance* setelah dioptimasi bernilai lebih kecil dibandingkan dengan *fouling resistance* pada kondisi bersih dan sebelum dioptimasi, hal ini dikarenakan dengan dimensi *heat exchanger* yang tetap dan dengan mengubah *flow rate steam* pada sisi *shell* menjadi lebih kecil dan temperatur keluaran pada sisi *shell* menjadi lebih besar maka kecepatan dan waktu tinggal *steam* di dalam *heat exchanger* semakin lama. Jika waktu tinggal *steam* di dalam *heat exchanger* semakin lama maka proses perpindahan panas antar fluida di dalam *heat exchanger* semakin baik sehingga *fouling* yang terbentuk semakin kecil dan efisiensi *heat exchanger* tersebut semakin baik.

#### **4.6 Hasil Perhitungan Efisiensi Heat Exchanger Setelah Dioptimasi**

Efisiensi *heat exchanger* didapatkan dari perbandingan antara koefisien perpindahan panas pada kondisi aktual dengan koefisien perpindahan panas pada kondisi bersih. Berikut merupakan perbandingan efisiensi *heat exchanger* antara sebelum dan sesudah dioptimasi. Efisiensi pada *heat exchanger* dengan variabel-variabel kondisi operasi setelah dioptimasi lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi pada *heat exchanger* dengan variabel-variabel kondisi operasi sebelum dioptimasi seperti pada Gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Efisiensi *heat exchanger* sebelum dan sesudah dioptimasi

Pada *heat exchanger* dengan variabel-variabel kondisi operasi setelah dioptimasi memiliki rata-rata nilai efisiensi sebesar 89,73% sedangkan pada *heat exchanger* dengan variabel-variabel kondisi operasi sebelum dioptimasi memiliki rata-rata nilai efisiensi sebesar 57,01%. Hal ini berarti bahwa efisiensi *heat exchanger* dengan variabel-variabel kondisi operasi setelah dioptimasi lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi *heat exchanger* dengan variabel-variabel kondisi operasi sebelum dioptimasi. Meningkatnya efisiensi *heat exchanger* dengan variabel-variabel kondisi operasi setelah dioptimasi dikarenakan *fouling resistance* pada *heat exchanger* dengan variabel-variabel kondisi operasi setelah dioptimasi berhasil diminimalkan.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan dari hasil tugas akhir ini, antara lain :

- a. *Evolution strategis algorithm* telah memberikan solusi optimal pada variabel-variabel kondisi operasi sehingga *fouling* pada *heat exchanger* dapat berkurang.
- b. Dengan dimensi panjang *heat exchanger* yang konstan atau tetap dan mengubah *flow rate* menjadi lebih kecil serta perbedaan temperatur semakin besar maka akan menyebabkan *fouling* yang terbentuk di dalam *heat exchanger* semakin kecil dan efisiensi *heat exchanger* tersebut semakin meningkat.
- c. *Evolution strategis algorithm* dapat mengoptimalkan kondisi operasi pada *heat exchanger* 101-E-527B, sehingga didapatkan nilai rata-rata *fouling resistance*, yaitu  $4,56 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$  dan nilai rata-rata efisiensi sebesar 89,73%.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

- a. Melakukan perhitungan terhadap prediksi *fouling* pada *heat exchanger* 101-E-527B.
- b. Melakukan perbandingan, baik dari segi kinerja maupun segi ekonomi, antara ketiga metode dalam mengurangi *fouling* yaitu dengan menambahkan zat kimia anti – *foulant*, mengubah desain *heat exchanger* serta mengubah variabel-variabel kondisi operasi.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Asomaning, S. (1997, Oktober). *Heat Exchanger Fouling by Petroleum Aspaltenes*, hal. 1-243.
- Byrne, R. (2007). *Standards of The Tubular Exchanger Manufacturers Association*. Tarrytown, New York: Broadway.
- Dr. Cuneyt EZGI, P. (2012). *Journal of Naval Science and Engineering. Optimization of Heat Exchanger Cleaning Cycle on a Ship*, 8 (1), 33-46.
- E.M. Ishiyama, A. (2010). *Applied Thermal Engineering. Scheduling Cleaning in a Crude Oil Preheat Train Subject to Fouling : Incorporating Desalter Control* , 30 (2), 1852-1862.
- Ezenwa Alfred Ogbonnaya, K. (2010). *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS). Maintenance Optimization of a Marine Heat Exchanger Subject to Fouling*, 1(2), 161-168.
- Massada, D. (1982). ASME. *Evaluation of lumped parameter heat*, 1(1), 1-10.
- Ibrahim, H. (2012, September). *Research Gate. Fouling in Heat Exchangers*, hal. 1-41.
- Kern, D. Q. (1983). *Process Heat Transfer*. Japan: Mc-Graw Hill.
- Kolmetz, K. (2010). *Heat Exchanger Selection and Sizing (Engineering Design Guideline)* (hal. 1-94). Johor: KLM Technology Group.
- Lawler, D. (1979). *Fouling of Crude Oil in Refinery Heat Exchangers*. UK.
- Thirumarimurugan, K. (2008). *American Journal of Applied Sciences. Performance Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger Using Miscible System*, 5 (5), 548-552.
- Mahmudy, W. (2013). *Algoritma Evolusi*. Universitas Brawijaya, Malang.
- MHRD. (2012). *Process Design of Heat Exchanger*. NPTEL.
- O. Kramer. (2014). *Brief Introduction to Continuous Evolutionary Optimization*. New York.



- Padmakshi Agarwal, S. (2013). *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. Application of Heat Exchangers in Bioprocess Industry*, 6 (1), 1-5.
- Ramesh L. Shah, D. (2003). *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. New York: Wiley.
- Runarsson, T. P. (2001). *Evolutionary Problem Solving*. ISBN 9979-9494-1-4. University of Iceland.
- Sadik Kakac, H. (2002). *Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design*. London: CRC Press.
- Sekulic, D. P. (1989). *Int. J. Heat Mass Transfer. A reconsideration of the definition of a heat exchanger*, 33(12), 2748-2750.
- Subramanian, R. (2010). *Shell-and-Tube Heat Exchangers*, hal. 1-10.
- Subramanian, R. S. (2010). *Thermal Analysis of A Steady State Heat Exchanger*, 1-6.

# LAMPIRAN A Data Sheet Heat Exchanger 101-E-527 B

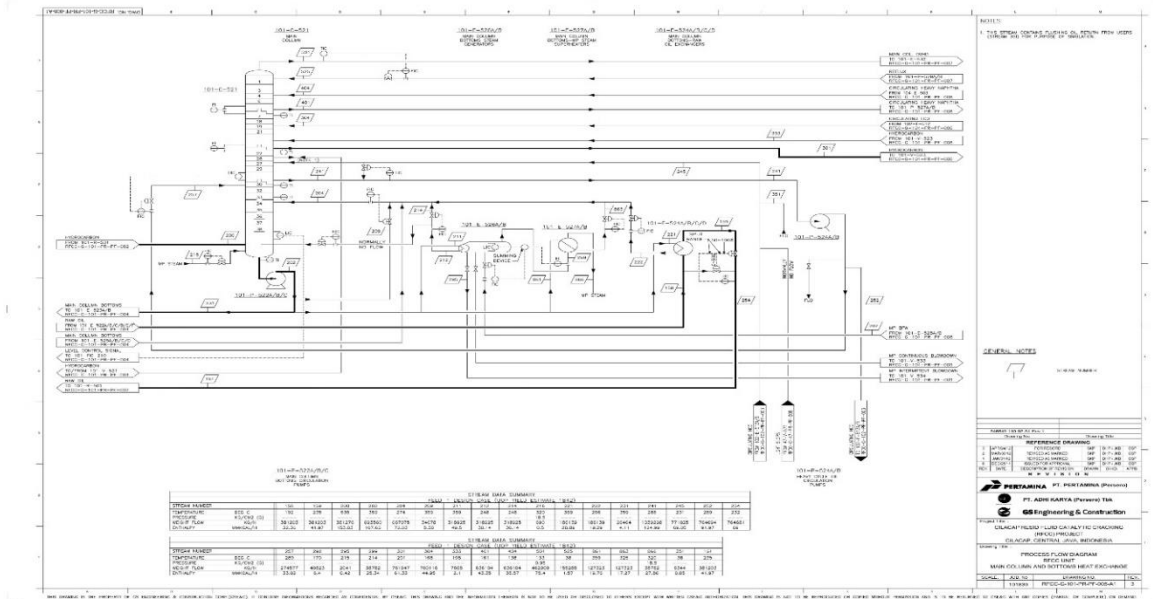
GS Engineering & Construction		PJT.NO. 101830		SHELL & TUBE HEAT EXCHANGER DATA SHEET			
ITEM NO. 101-E-527A/B		MKH UNIT		SHEET 1 OF 2			
PROJECT CILCAP RFCC PROJECT		DOC.NO. :					
CLIENT PT. PERTAMITA PROCESSING		P & I.D NO. :					
LOCATION CILCAP, CENTRAL JAVA, INDONESIA		REV		DATE	PREPD	CHKD BY	APPD
SERVICE MAIN COLUMN BOTTOMS-MP STEAM SUPERHEATERS		0	2012-01-06	K.H.JEONG	H.J. LEE		
MFR. NAME		1	2012-06-05	K.H.JEONG	H.J. LEE		
APPLIED CODE ASME SEC. VIII, DIV. 1		2	2013-02-14	K.H.JEONG	H.J. LEE		
Tema CLASS R		INSTALL TYPE		<input checked="" type="radio"/> HORIZONTAL <input type="radio"/> VERTICAL <input type="radio"/> Deg SLOPE			
TYPE BEU		CONNECTED IN		2 PARALLEL		1 SERIES	
SIZE 700 mm X 5000 mm		SHELL / UNIT TWO(2)		SURFACE / SHELL (EFF.)		102.07 m <sup>2</sup>	
PERFORMANCE OF ONE UNIT ( OPERATING CASE NAME : DESIGN CASE )							
FLUID ALLOCATION		SHELL SIDE		TUBE SIDE			
		IN OUT		IN OUT			
FLUID CIRCULATED		MP STEAM		MAIN COLUMN BOTTOMS			
FLUID QUANTITY		38782 x 1.38		127323 x 1.38			
- TOTAL kg/h							
- VAPOR kg/h							
- LIQUID kg/h							
- STEAM kg/h		38782 x 1.38		127323 x 1.38		127323 x 1.38	
- WATER kg/h							
- NONCONDENSABLE kg/h							
TEMPERATURE deg-C		214		320		359 325	
DENSITY VAP / LIQ. kg/m <sup>3</sup>		10.294		7.7298		860.8 884.5	
VISCOSITY VAP / LIQ. cP		0.0162		0.0209		0.457 0.575	
MOLE WEIGHT VAPOR							
MOLE WEIGHT NONCONDENSABLE							
SPECIFIC HEAT VAP / LIQ. kcal/kg*deg-C		0.7659		0.5441		0.58 0.56	
THERMAL CONDUCTIVITY VAP / LIQ. Kcal/m <sup>2</sup> *hr*deg-C		0.0361		0.0412		0.069 0.0732	
LATENT HEAT kcal/kg							
INLET PRESSURE kg/cm <sup>2</sup> g		19.90		6.124			
VELOCITY m/s				1.39			
PRESSURE DROP (allw./cal.) kg/cm <sup>2</sup>		0.352 / 0.35		0.352 / 0.35			
FOULING RESIST.(min.) m <sup>2</sup> *hr*deg-C/Kcal		0.0001		0.0006			
RLM HEAT TRANSFER COEFF. Kcal/m <sup>2</sup> *hr*deg-C		684.65		1321.12			
HEAT EXCHANGED 2.49 x 1.38 mm kcal/hr		MTD. (CORRECTED)		60.0 deg. C			
TRANSFER RATE Kcal/m <sup>2</sup> *hr*deg-C		SERVICE 280.47		CALCULATED 290.72		CLEAN 388.75	
CONSTRUCTION OF ONE SHELL		SHELL SIDE		TUBE SIDE		SKETCH ( BUNDLE / NOZ. ORIENT )	
DESIGN PRESS. kg/cm <sup>2</sup> g		24.5 / F.V. @ 120 deg-c		19			
TEST PRESS. kg/cm <sup>2</sup> g		370 / 19 (MDMT)		400 / 19 (MDMT)			
DESIGN TEMP. deg-C		1		FOUR(4)			
NO. OF PASS PER SHELL		3.0		(NOTE. 1)			
CORR. ALLOW. mm							
CORR./ERO. CAUSED BY							
INSUL. ( TYPE / THK, mm )							
NOZZLE INLET		10 inch / 1 / 300# - RF		6 inch / 1 / 300# - RF			
(SIZE / NO. / REMARK)		OUTLET		10 inch / 1 / 300# - RF			
INTERMEDIATE							
TUBE TYPE 410		SHELL		Killed Carbon Steel			
CHANNEL OR BONNET Killed Carbon Steel (NOTE. 1)		SHELL COVER		Killed Carbon Steel			
TUBESHEET-STATIONARY Killed Carbon Steel (NOTE. 1)		CHANNEL COVER		Killed Carbon Steel (NOTE. 1)			
FLOATING HEAD COVER		TUBESHEET-FLOATING					
GASKET ( SHELL / CHANNEL / FLOATING H )							
TUBE		-NO. 131-U - O.D. 25.40 mm		-THK ( Avg. ) 2.77 mm		-LENGTH 5000 mm - PITCH 31.75mm & 90 deg	
-TUBE TYPE : Plain		-TUBE TO TUBESHEET JOINT		STRENGTH WELD WITH LIGHT EXPANSION			
SHELL		- I.D. 700 mm		- SHELL COVER : INTEGRAL		IMPINGEMENT PROTECTION YES	
BAFFLES (CROSS)		- TYPE : SINGLE-SEG.		- NO. 8		- %CUT ( DIA. ) 26.4 - VERTICAL	
- SPACING ( mm )		CENTRAL 500		INLET 600		OUTLET	
BAFFLES (LONG)		- LENGTH mm		- SEAL TYPE :		U-BEND SUPPORT TYPE FULL SUPPORT PLATE	
BYPASS SEAL ARRANGE - SEAL STRIPS		2 PAIRS		- SEAL RODS		- EA	
EXPANSION JOINT (Y/N)		- TYPE		DESIGN M.M.T. ( deg-C )		- SHELL SIDE - TUBE SIDE	
Rho*V <sup>2</sup> (kg/m-sec <sup>2</sup> )		Inlet Nozzle 2311.43		Bundle Entrance 2291.42		Bundle Exit 967.03	
WEIGHT/SHELL SHIPPING kg		5.461		- FILLED W / WATER kg		7.877 - BUNDLE kg 3.031	
NOTES							
1. TUBE SIDES LINED WITH A MINIMUM OF 3 mm TYPE 405 OR TYPE 410S.							
2. THE HOT SIDE FLUID CONTAIN 0.76 wt% SULFUR.							
3. PARTIAL SUPPORTS SHALL BE PROVIDED UNDER INLET AND OUTLET NOZZLES.							
4. THE SHELL&TUBE SIDE ARE SUBJECT TO STEAM OUT (F.V.@150deg-C)							

APPLIED PROCESS DATASHEET REV. : 2 DATE : 2012-06-04

Global Best & First

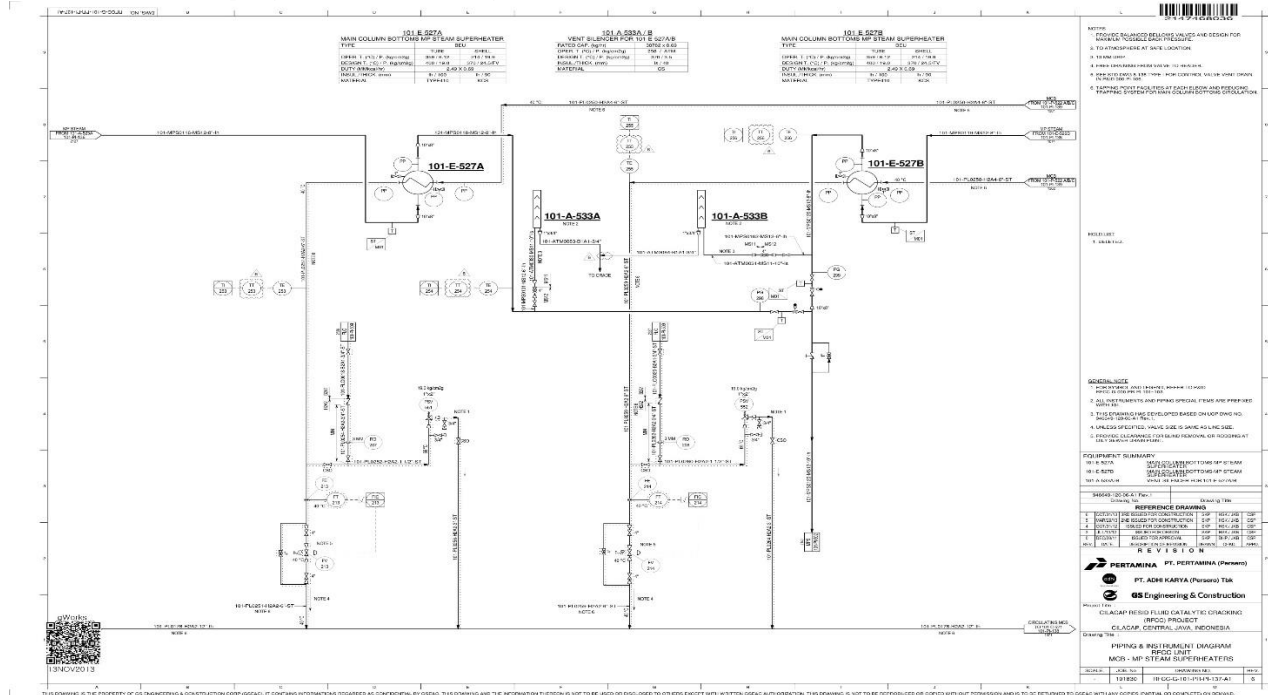


### LAMPIRAN B *Process Flow Diagram*





### LAMPIRAN C *Piping & Intrument Diagram*



1      **PIRAN D** Data Kondisi Operasi *Heat Exchanger*

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
1-Jan-16	213,52	306,60	29,2	347,1	314,52	80,61
2-Jan-16	213,52	306,60	29,2	347,1	314,52	80,61
3-Jan-16	213,52	307,45	29,26	346,43	315,2	85,62
4-Jan-16	213,75	304,24	30,16	342,33	312,23	90,6
5-Jan-16	213,20	306,08	28,33	343,03	313,82	91,63
6-Jan-16	213,20	306,08	28,33	343,03	313,82	91,63
7-Jan-16	213,20	306,08	28,33	343,03	313,82	91,63
8-Jan-16	213,20	306,08	28,33	343,03	313,82	91,63
9-Jan-16	213,20	306,08	28,33	343,03	313,82	91,63
10-Jan-16	213,20	306,08	28,33	343,03	313,82	91,63
11-Jan-16	213,20	306,08	28,33	343,03	313,82	91,63

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv <sub>shell</sub>	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv <sub>tube</sub>
12-Jan-16	213,47	303,56	29,53	340,59	311,18	91,11
13-Jan-16	214,15	296,67	32,31	333,41	303,82	89,99
14-Jan-16	214,03	297,57	31,8	334,24	304,69	90
15-Jan-16	214,15	298,41	32,48	336,28	306,01	90
16-Jan-16	214,35	297,40	33,01	336,03	305,02	88,4
17-Jan-16	214,31	296,69	33,21	335,47	304,07	87,54
18-Jan-16	214,18	298,16	32,39	336,14	305,14	88
19-Jan-16	214,10	297,18	32,07	334,26	303,7	88
20-Jan-16	214,15	297,76	32,26	335,07	304,31	88
21-Jan-16	214,09	296,48	32,08	333,64	302,73	86
22-Jan-16	214,12	298,06	32,27	336,02	304,68	85,93
23-Jan-16	214,47	299,87	32,58	338,19	307,03	88,53
24-Jan-16	214,43	301,27	32,19	339,06	308,3	89,68

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
25-Jan-16	214,43	301,27	32,19	339,06	308,3	89,68
26-Jan-16	214,34	298,01	32	334,81	304,18	88
27-Jan-16	214,34	298,01	32	334,81	304,18	88
28-Jan-16	214,05	299,65	32,04	336,06	306,1	91,19
29-Jan-16	214,30	299,38	33,14	337,14	305,8	89,99
30-Jan-16	214,26	299,27	33,11	337,39	305,81	90
31-Jan-16	214,23	301,16	33,01	339,63	307,8	89,85
1-Feb-16	214,64	302,26	34,16	343,06	309,22	88,67
2-Feb-16	214,76	304,45	34,42	346,79	311,57	86,83
3-Feb-16	214,86	303,19	34,72	345,4	310,06	86,48
4-Feb-16	214,63	305,26	33,89	347,03	311,86	86,15
5-Feb-16	214,61	306,61	33,79	349,24	313,3	84,5
6-Feb-16	214,43	306,05	33,56	348,27	312,19	83,46

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
7-Feb-16	214,23	306,64	32,94	347,87	312,6	85
8-Feb-16	214,35	307,15	33,12	349,17	313,4	85
9-Feb-16	214,48	305,57	33,54	348,55	312,04	83,21
10-Feb-16	214,82	307,14	34,59	349,53	314,19	90
11-Feb-16	214,84	306,46	34,72	348,53	313,37	90
12-Feb-16	214,86	307,00	34,72	349,52	314,07	90
13-Feb-16	214,93	307,04	34,87	349,74	314,19	90,01
14-Feb-16	214,91	307,33	34,88	350,22	314,34	89,2
15-Feb-16	214,91	306,55	34,96	349,4	313,3	87,99
16-Feb-16	214,85	306,35	34,85	349,33	313,34	88
17-Feb-16	214,84	306,14	34,8	348,86	312,85	88
18-Feb-16	214,71	305,44	34,27	347,83	311,83	86,15
19-Feb-16	214,65	304,13	34,16	347,62	310,3	81,43

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
20-Feb-16	214,20	303,88	32,83	346,08	309,5	80,01
21-Feb-16	214,25	304,09	32,99	346,85	309,92	80,03
22-Feb-16	214,24	302,08	32,97	345,58	307,45	75,8
23-Feb-16	214,27	302,63	32,93	346,75	308,07	74,99
24-Feb-16	214,26	302,08	33,14	346,28	307,63	75,01
25-Feb-16	214,32	302,48	33,3	347,21	308,27	75,01
26-Feb-16	214,49	301,48	33,83	346,66	307,21	74,32
27-Feb-16	214,22	302,10	33,01	347,33	307,4	72,3
28-Feb-16	214,12	301,76	32,73	346,1	306,9	72,79
29-Feb-16	214,16	301,62	32,94	346,34	307,1	73,02
1-Mar-16	214,21	301,24	33,14	346,04	306,64	73,04
2-Mar-16	214,19	301,24	32,9	346,21	306,31	71,71
3-Mar-16	214,06	299,26	33,09	347,21	303,99	65

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv <sub>shell</sub>	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv <sub>tube</sub>
4-Mar-16	213,43	299,19	33,14	346,11	303,88	66,64
5-Mar-16	212,40	300,75	31,79	344,51	305,27	69,99
6-Mar-16	212,17	301,96	30,53	345,37	306,17	68,04
7-Mar-16	212,17	301,96	30,53	345,37	306,17	68,04
8-Mar-16	212,17	301,96	30,53	345,37	306,17	68,04
9-Mar-16	212,17	301,96	30,53	345,37	306,17	68,04
10-Mar-16	212,17	301,96	30,53	345,37	306,17	68,04
11-Mar-16	210,26	305,34	30,49	347,57	308,99	71,02
12-Mar-16	209,87	305,34	29,98	346,65	308,64	70,81
13-Mar-16	210,23	303,80	30,81	346,06	307,16	70
14-Mar-16	210,43	304,12	31,33	347,39	307,88	70
15-Mar-16	210,79	303,92	32,44	346,63	308,83	76,07
16-Mar-16	211,40	305,12	33,49	347,77	310,04	79,97

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
17-Mar-16	211,50	303,98	33,65	347,9	307,99	74,87
18-Mar-16	211,67	303,41	33,66	348,47	307,21	71,88
19-Mar-16	211,65	303,86	33,43	347,73	308,01	74,92
20-Mar-16	211,67	304,32	33,53	348,57	308,57	75
21-Mar-16	211,72	304,69	33,62	348,32	309,04	75,67
22-Mar-16	211,70	302,85	33,63	345,99	306,96	74,99
23-Mar-16	211,48	302,05	33,2	345,58	305,79	72,38
24-Mar-16	211,56	303,21	33,02	347,16	307,01	72,05
25-Mar-16	211,74	303,36	33,52	347,09	307,74	75
26-Mar-16	211,78	302,62	33,68	346,12	306,81	75,01
27-Mar-16	211,77	302,70	33,57	346,4	306,93	75
28-Mar-16	211,96	302,91	33,92	347,31	307,33	75
29-Mar-16	211,95	302,86	33,89	347,29	307,13	75



Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
30-Mar-16	211,96	302,96	33,96	347,37	307,14	75
31-Mar-16	211,90	302,47	33,92	347,05	306,67	75
1-Apr-16	212,10	302,15	34,58	347,58	306,61	75
2-Apr-16	212,15	302,48	34,85	348,33	307,29	75,83
3-Apr-16	212,05	302,84	34,92	347,2	307,87	80
4-Apr-16	211,95	302,08	34,09	345,19	306,46	78,91
5-Apr-16	211,98	301,90	34,25	345,49	306,21	77,68
6-Apr-16	212,35	302,08	35,07	346,88	306,75	77,88
7-Apr-16	212,22	303,22	34,61	347,37	307,8	78,91
8-Apr-16	212,25	302,25	34,07	346,17	306,65	77,26
9-Apr-16	212,26	302,16	34,03	346,14	306,58	76,99
10-Apr-16	212,28	302,07	34,08	346,09	306,49	77,01
11-Apr-16	212,25	302,23	34,24	346,47	306,73	77

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
12-Apr-16	211,88	302,96	34,4	347,06	307,58	78,39
13-Apr-16	211,80	304,74	34,38	346,72	309,83	85,09
14-Apr-16	212,28	304,85	34,96	347,27	310,07	85,1
15-Apr-16	212,45	303,47	33,63	345,58	308,25	80,51
16-Apr-16	213,10	305,40	34,72	348,24	310,41	83,34
17-Apr-16	214,19	305,43	34,15	348,61	310,27	80,69
18-Apr-16	214,35	304,94	34,11	347,97	309,38	80,02
19-Apr-16	214,58	305,03	34,49	346,69	309,69	85,01
20-Apr-16	214,39	304,16	34,86	347,28	308,87	82,34
21-Apr-16	214,58	306,68	35,48	350,2	311,86	85,7
22-Apr-16	214,80	307,21	35,53	349,82	312,94	90
23-Apr-16	214,68	307,40	35,46	349,92	312,99	90
24-Apr-16	214,58	306,91	35,48	349,28	312,43	90

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv <sub>shell</sub>	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv <sub>tube</sub>
25-Apr-16	214,57	306,10	35,52	348,09	311,4	90
26-Apr-16	215,02	306,40	35,93	349,37	312,06	90,13
27-Apr-16	215,18	306,55	35,83	349,62	312,26	90,3
28-Apr-16	215,18	306,55	35,83	349,62	312,26	90,3
29-Apr-16	215,18	306,55	35,83	349,62	312,26	90,3
30-Apr-16	215,11	306,21	35,78	349,49	311,87	88,98
1-May-16	214,95	306,27	35,71	349,18	312,1	89,23
2-May-16	215,02	306,60	35,86	349,6	312,55	90
3-May-16	214,85	306,94	35,33	349,77	312,69	89,6
4-May-16	215,09	306,55	35,96	350,33	312,63	90
5-May-16	214,89	305,79	35,58	349,19	312,13	89,86
6-May-16	214,82	306,78	35,37	350,04	312,45	89,1
7-May-16	214,80	306,68	35,27	349,49	312,37	90

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
8-May-16	214,85	306,45	35,38	349,47	312,3	90
9-May-16	214,90	305,87	35,43	349,65	311,8	88,01
10-May-16	214,79	305,23	35,3	348,63	310,71	86,3
11-May-16	214,54	305,29	34,46	347,9	310,13	85
12-May-16	214,59	304,32	34,74	349,08	310,28	84,59
13-May-16	214,78	304,77	35,11	348,19	310,88	89,81
14-May-16	214,80	305,37	35,18	348,63	311,19	89,99
15-May-16	214,79	306,27	35,01	349,63	312,23	89,99
16-May-16	215,02	306,15	35,46	350,17	312,51	90,01
17-May-16	215,05	305,64	35,56	349,6	312,01	90
18-May-16	215,03	305,83	35,78	350,05	312,23	90
19-May-16	215,07	306,46	35,9	351,1	313	90,01
20-May-16	215,17	306,67	35,8	351,5	313,39	90

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv <sub>shell</sub>	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv <sub>tube</sub>
21-May-16	215,35	306,40	36,21	351,63	313,43	90,01
22-May-16	215,19	307,33	35,84	353,56	314,05	87,1
23-May-16	215,35	308,08	36,28	353,86	315,01	90
24-May-16	215,33	308,76	36,18	354,62	315,49	90
25-May-16	215,37	309,77	36,36	356,36	316,37	89,22
26-May-16	215,30	310,49	36,18	356,99	317,15	89,9
27-May-16	215,63	311,04	37,03	359,13	318,17	89,99
28-May-16	215,14	309,98	36,25	357,62	317,81	90
29-May-16	215,07	311,07	36,12	358,87	319,3	90,95
30-May-16	215,08	312,51	36,03	358,6	320,05	91,97
31-May-16	215,15	315,74	35,57	358,75	323,79	101,59
1-Jun-16	214,88	317,22	34,87	360,34	325,43	101,13
2-Jun-16	214,32	320,35	33,1	359,79	328,8	110,39

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	ton/hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
3-Jun-16	213,58	324,33	30,86	361,66	332,66	113,34
4-Jun-16	212,81	325,09	28,35	364,13	332,32	97,87
5-Jun-16	212,40	327,70	27,05	367,09	335,33	95,21
6-Jun-16	211,88	331,58	25,03	365,67	339,99	109,13
7-Jun-16	211,41	332,38	24,08	366,17	340,88	107,54
8-Jun-16	211,37	330,00	23,64	364,46	339	116,05

**PIRAN E** Data Kondisi Operasi *Heat Exchanger* Setelah Direkonsiliasi

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
1-Jan-16	213,52	306,60	347,10	314,52	29200	68042,6998
2-Jan-16	213,52	306,60	347,10	314,52	29200	68042,6998
3-Jan-16	213,52	307,45	346,43	315,20	29260	72272,7207
4-Jan-16	213,75	304,24	342,33	312,23	30160	75659,1837
5-Jan-16	213,20	306,08	343,03	313,82	28330	76787,0321
6-Jan-16	213,20	306,08	343,03	313,82	28330	76787,0321
7-Jan-16	213,20	306,08	343,03	313,82	28330	76787,0321
8-Jan-16	213,20	306,08	343,03	313,82	28330	76787,032
9-Jan-16	213,20	306,08	343,03	313,82	28330	76787,0321
10-Jan-16	213,20	306,08	343,03	313,82	28330	76787,0321
11-Jan-16	213,20	306,08	343,03	313,82	28330	76787,0321

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
12-Jan-16	213,47	303,56	340,59	311,18	29530	75760,7743
13-Jan-16	214,15	296,67	333,41	303,82	32310	73160,128
14-Jan-16	214,03	297,57	334,24	304,69	31800	73363,4559
15-Jan-16	214,15	298,41	336,28	306,01	32480	73749,259
16-Jan-16	214,35	297,40	336,03	305,02	33010	72298,3125
17-Jan-16	214,31	296,69	335,47	304,07	33210	71426,3152
18-Jan-16	214,18	298,16	336,14	305,14	32390	71996,9931
19-Jan-16	214,10	297,18	334,26	303,70	32070	71624,2542
20-Jan-16	214,15	297,76	335,07	304,31	32260	71783,6787
21-Jan-16	214,09	296,48	333,64	302,73	32080	69821,9768
22-Jan-16	214,12	298,06	336,02	304,68	32270	70239,8422
23-Jan-16	214,47	299,87	338,19	307,03	32580	72875,6223
24-Jan-16	214,43	301,27	339,06	308,30	32190	74067,119



Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in,(Measured)}$	$TC_{out,(Measured)}$	$TH_{in,(Measured)}$	$TH_{out,(Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
25-Jan-16	214,43	301,27	339,06	308,30	32190	71739,8931
26-Jan-16	214,34	298,01	334,81	304,18	32000	71739,8931
27-Jan-16	214,34	298,01	334,81	304,18	32000	71739,8931
28-Jan-16	214,05	299,65	336,06	306,10	32040	74709,2638
29-Jan-16	214,30	299,38	337,14	305,80	33140	73815,6909
30-Jan-16	214,26	299,27	337,39	305,81	33110	73853,7474
31-Jan-16	214,23	301,16	339,63	307,80	33010	74215,5469
1-Feb-16	214,64	302,26	343,06	309,22	34160	73789,5331
2-Feb-16	214,76	304,45	346,79	311,57	34420	72931,8498
3-Feb-16	214,86	303,19	345,40	310,06	34720	72317,9099
4-Feb-16	214,63	305,26	347,03	311,86	33890	72418,9443
5-Feb-16	214,61	306,61	349,24	313,30	33790	71425,4201
6-Feb-16	214,43	306,05	348,27	312,19	33560	70324,8625

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
7-Feb-16	214,23	306,64	347,87	312,60	32940	71623,578
8-Feb-16	214,35	307,15	349,17	313,40	33120	71851,3091
9-Feb-16	214,48	305,57	348,55	312,04	33540	70128,0089
10-Feb-16	214,82	307,14	349,53	314,19	34590	76209,9024
11-Feb-16	214,84	306,46	348,53	313,37	34720	76000,9257
12-Feb-16	214,86	307,00	349,52	314,07	34720	76194,9755
13-Feb-16	214,93	307,04	349,74	314,19	34870	76242,4855
14-Feb-16	214,91	307,33	350,22	314,34	34880	75628,0745
15-Feb-16	214,91	306,55	349,40	313,30	34960	74393,3781
16-Feb-16	214,85	306,35	349,33	313,34	34850	74398,4647
17-Feb-16	214,84	306,14	348,86	312,85	34800	74290,6848
18-Feb-16	214,71	305,44	347,83	311,83	34270	72503,5754
19-Feb-16	214,65	304,13	347,62	310,30	34160	68350,4715

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
20-Feb-16	214,20	303,88	346,08	309,50	32830	66919,6957
21-Feb-16	214,25	304,09	346,85	309,92	32990	67057,9257
22-Feb-16	214,24	302,08	345,58	307,45	32970	63151,8867
23-Feb-16	214,27	302,63	346,75	308,07	32930	62648,2985
24-Feb-16	214,26	302,08	346,28	307,63	33140	62577,9217
25-Feb-16	214,32	302,48	347,21	308,27	33300	62728,1677
26-Feb-16	214,49	301,48	346,66	307,21	33830	61998,4889
27-Feb-16	214,22	302,10	347,33	307,40	33010	60392,7116
28-Feb-16	214,12	301,76	346,10	306,90	32730	60641,3543
29-Feb-16	214,16	301,62	346,34	307,10	32940	60873,9574
1-Mar-16	214,21	301,24	346,04	306,64	33140	60819,8102
2-Mar-16	214,19	301,24	346,21	306,31	32900	59697,692
3-Mar-16	214,06	299,26	347,21	303,99	33090	54002,2357

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
4-Mar-16	213,43	299,19	346,11	303,88	33140	55261,8799
5-Mar-16	212,40	300,75	344,51	305,27	31790	58021,149
6-Mar-16	212,17	301,96	345,37	306,17	30530	56557,3926
7-Mar-16	212,17	301,96	345,37	306,17	30530	56557,3926
8-Mar-16	212,17	301,96	345,37	306,17	30530	56557,3926
9-Mar-16	212,17	301,96	345,37	306,17	30530	56557,3926
10-Mar-16	212,17	301,96	345,37	306,17	30530	56557,3926
11-Mar-16	210,26	305,34	347,57	308,99	30490	59489,3303
12-Mar-16	209,87	305,34	346,65	308,64	29980	59198,6941
13-Mar-16	210,23	303,80	346,06	307,16	30810	58336,6525
14-Mar-16	210,43	304,12	347,39	307,88	31330	58519,7304
15-Mar-16	210,79	303,92	346,63	308,83	32440	63612,6666
16-Mar-16	211,40	305,12	347,77	310,04	33490	67113,7582

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in,(Measured)}$	$TC_{out,(Measured)}$	$TH_{in,(Measured)}$	$TH_{out,(Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
17-Mar-16	211,50	303,98	347,90	307,99	33650	62650,2537
18-Mar-16	211,67	303,41	348,47	307,21	33660	60129,0021
19-Mar-16	211,65	303,86	347,73	308,01	33430	62677,7556
20-Mar-16	211,67	304,32	348,57	308,57	33530	62878,6427
21-Mar-16	211,72	304,69	348,32	309,04	33620	63461,5973
22-Mar-16	211,70	302,85	345,99	306,96	33630	62469,3909
23-Mar-16	211,48	302,05	345,58	305,79	33200	60149,2647
24-Mar-16	211,56	303,21	347,16	307,01	33020	60132,4086
25-Mar-16	211,74	303,36	347,09	307,74	33520	62657,6096
26-Mar-16	211,78	302,62	346,12	306,81	33680	62484,1376
27-Mar-16	211,77	302,70	346,40	306,93	33570	62514,0816
28-Mar-16	211,96	302,91	347,31	307,33	33920	62639,4294
29-Mar-16	211,95	302,86	347,29	307,13	33890	62618,3786

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
30-Mar-16	211,96	302,96	347,37	307,14	33960	62626,9903
31-Mar-16	211,90	302,47	347,05	306,67	33920	62551,3989
1-Apr-16	212,10	302,15	347,58	306,61	34580	62596,371
2-Apr-16	212,15	302,48	348,33	307,29	34850	63427,4484
3-Apr-16	212,05	302,84	347,20	307,87	34920	66859,279
4-Apr-16	211,95	302,08	345,19	306,46	34090	65604,0173
5-Apr-16	211,98	301,90	345,49	306,21	34250	64586,3779
6-Apr-16	212,35	302,08	346,88	306,75	35070	64944,4303
7-Apr-16	212,22	303,22	347,37	307,80	34610	65958,3887
8-Apr-16	212,25	302,25	346,17	306,65	34070	64347,5693
9-Apr-16	212,26	302,16	346,14	306,58	34030	64112,8719
10-Apr-16	212,28	302,07	346,09	306,49	34080	64115,7718
11-Apr-16	212,25	302,23	346,47	306,73	34240	64168,353

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
12-Apr-16	211,88	302,96	347,06	307,58	34400	65470,7316
13-Apr-16	211,80	304,74	346,72	309,83	34380	71273,8667
14-Apr-16	212,28	304,85	347,27	310,07	34960	71368,014
15-Apr-16	212,45	303,47	345,58	308,25	33630	67158,1403
16-Apr-16	213,10	305,40	348,24	310,41	34720	70031,2992
17-Apr-16	214,19	305,43	348,61	310,27	34150	67828,1593
18-Apr-16	214,35	304,94	347,97	309,38	34110	67108,7587
19-Apr-16	214,58	305,03	346,69	309,69	34490	71188,4189
20-Apr-16	214,39	304,16	347,28	308,87	34860	68928,3666
21-Apr-16	214,58	306,68	350,20	311,86	35480	72387,2641
22-Apr-16	214,80	307,21	349,82	312,94	35530	76099,6729
23-Apr-16	214,68	307,40	349,92	312,99	35460	76116,8963
24-Apr-16	214,58	306,91	349,28	312,43	35480	75979,1094

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
25-Apr-16	214,57	306,10	348,09	311,40	35520	75724,2038
26-Apr-16	215,02	306,40	349,37	312,06	35930	76056,6603
27-Apr-16	215,18	306,55	349,62	312,26	35830	76251,958
28-Apr-16	215,18	306,55	349,62	312,26	35830	76251,958
29-Apr-16	215,18	306,55	349,62	312,26	35830	76251,958
30-Apr-16	215,11	306,21	349,49	311,87	35780	75078,2805
1-May-16	214,95	306,27	349,18	312,10	35710	75280,1147
2-May-16	215,02	306,60	349,60	312,55	35860	76029,6313
3-May-16	214,85	306,94	349,77	312,69	35330	75727,1585
4-May-16	215,09	306,55	350,33	312,63	35960	76122,6374
5-May-16	214,89	305,79	349,19	312,13	35580	75816,2086
6-May-16	214,82	306,78	350,04	312,45	35370	75307,9841
7-May-16	214,80	306,68	349,49	312,37	35270	75996,3328



Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in,(Measured)}$	$TC_{out,(Measured)}$	$TH_{in,(Measured)}$	$TH_{out,(Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
8-May-16	214,85	306,45	349,47	312,30	35380	75985,9988
9-May-16	214,90	305,87	349,65	311,80	35430	74269,9332
10-May-16	214,79	305,23	348,63	310,71	35300	72594,5823
11-May-16	214,54	305,29	347,90	310,13	34460	71358,9763
12-May-16	214,59	304,32	349,08	310,28	34740	71158,3081
13-May-16	214,78	304,77	348,19	310,88	35110	75516,218
14-May-16	214,80	305,37	348,63	311,19	35180	75753,6771
15-May-16	214,79	306,27	349,63	312,23	35010	75987,8887
16-May-16	215,02	306,15	350,17	312,51	35460	76098,9416
17-May-16	215,05	305,64	349,60	312,01	35560	75967,6272
18-May-16	215,03	305,83	350,05	312,23	35780	76044,5582
19-May-16	215,07	306,46	351,10	313,00	35900	76262,0075
20-May-16	215,17	306,67	351,50	313,39	35800	76344,2445

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
21-May-16	215,35	306,40	351,63	313,43	36210	76372,2492
22-May-16	215,19	307,33	353,56	314,05	35840	74186,5166
23-May-16	215,35	308,08	353,86	315,01	36280	76801,2376
24-May-16	215,33	308,76	354,62	315,49	36180	76943,6173
25-May-16	215,37	309,77	356,36	316,37	36360	76575
26-May-16	215,30	310,49	356,99	317,15	36180	77320,3444
27-May-16	215,63	311,04	359,13	318,17	37030	77760,5491
28-May-16	215,14	309,98	357,62	317,81	36250	77554,4723
29-May-16	215,07	311,07	358,87	319,30	36120	78691,0371
30-May-16	215,08	312,51	358,60	320,05	36030	79629,8745
31-May-16	215,15	315,74	358,75	323,79	35570	88463,2845
1-Jun-16	214,88	317,22	360,34	325,43	34870	88479,4636
2-Jun-16	214,32	320,35	359,79	328,80	33100	96978,2708

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Shell Side Mass Flow Rate - MPS	Tube Side Mass Flow Rate - MCB
Unit	°C	°C	°C	°C	kg/hr	kg/hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	G,MPS	G,MCB
Design (Clean)	214,00	320,00	359,00	325,00	53519	175706
3-Jun-16	213,58	324,33	361,66	332,66	30860	100398,419
4-Jun-16	212,81	325,09	364,13	332,32	28350	86960,7992
5-Jun-16	212,40	327,70	367,09	335,33	27050	85322,4711
6-Jun-16	211,88	331,58	365,67	339,99	25030	98247,9838
7-Jun-16	211,41	332,38	366,17	340,88	24080	97007,2404
8-Jun-16	211,37	330,00	364,46	339,00	23640	104152,223

# **LAMPIRAN F** Data Kondisi Operasi *Heat Exchanger* Setelah Dioptimasi

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
1-Jan-16	213,52	329,04	2283,0592	347,1	311,70	82,3029
2-Jan-16	213,52	329,04	2283,0592	347,1	311,70	82,3029
3-Jan-16	213,52	329,37	2309,19387	346,43	312,50	87,1676
4-Jan-16	213,75	323,48	2935,95106	342,33	302,82	92,0505
5-Jan-16	213,20	327,47	2302,61347	343,03	311,30	92,8648
6-Jan-16	213,20	327,47	2302,61347	343,03	311,30	92,8648
7-Jan-16	213,20	327,47	2304,90852	343,03	311,30	92,8648
8-Jan-16	213,20	327,47	2302,61347	343,03	311,30	92,8648
9-Jan-16	213,20	327,47	2302,61347	343,03	311,30	92,8648
10-Jan-16	213,20	327,47	2302,61347	343,03	311,30	92,8648
11-Jan-16	213,20	327,47	2304,90852	343,03	311,30	92,8648
12-Jan-16	213,47	324,62	2385,97225	340,59	308,50	92,5055

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
13-Jan-16	214,15	316,54	2598,46527	333,41	300,80	91, 7527
14-Jan-16	214,03	317,50	2570,67825	334,24	301,60	91,7054
15-Jan-16	214,15	318,94	2604,77645	336,28	303,00	91,7413
16-Jan-16	214,35	317,90	2667,68345	336,03	301,70	90,2143
17-Jan-16	214,31	317,14	2659,65621	335,47	301,11	89,3922
18-Jan-16	214,18	318,24	2625,90407	336,14	301,90	89,7835
19-Jan-16	214,10	316,80	2597,31626	334,26	300,70	89,7708
20-Jan-16	214,15	317,46	2602,98336	335,07	301,30	89,7963
21-Jan-16	214,09	315,90	2587,34367	333,64	299,70	87,8614
22-Jan-16	214,12	318,01	2580,53363	336,02	301,70	87,8121
23-Jan-16	214,47	320,16	2633,23581	338,19	303,70	90,3226
24-Jan-16	214,43	321,46	2602,8113	339,06	305,00	91,4172
25-Jan-16	214,43	321,46	2602,8113	339,06	305,00	91,4172

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
26-Jan-16	214,34	317,29	2604,49674	334,81	301,00	89,7754
27-Jan-16	214,34	317,29	2604,49674	334,81	301,00	89,7754
28-Jan-16	214,05	319,09	2608,2006	336,06	302,90	92,8944
29-Jan-16	214,30	318,96	2703,0207	337,14	302,50	91,7867
30-Jan-16	214,26	319,13	2689,54762	337,39	302,80	91,7515
31-Jan-16	214,23	321,29	2664,50613	339,63	304,80	91,6163
1-Feb-16	214,64	323,03	2766,1648	343,06	306,10	90,4781
2-Feb-16	214,76	325,83	2754,30255	346,79	308,60	88,7028
3-Feb-16	214,86	324,22	2792,01642	345,4	307,00	88,3897
4-Feb-16	214,63	326,31	2705,11965	347,03	308,99	88,0307
5-Feb-16	214,61	328,02	2681,93123	349,24	310,40	86,4299
6-Feb-16	214,43	326,92	2690,86421	348,27	309,00	85,4250
7-Feb-16	214,23	327,37	2637,59403	347,87	309,70	86,8507

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
8-Feb-16	214,35	328,26	2658,27503	349,17	310,50	86,8187
9-Feb-16	214,48	326,98	2674,38776	348,55	309,30	85,1001
10-Feb-16	214,82	328,65	2781,20822	349,53	311,40	91,7292
11-Feb-16	214,84	327,68	2805,74183	348,53	310,40	91,7631
12-Feb-16	214,86	328,42	2814,40231	349,52	311,00	91,7327
13-Feb-16	214,93	328,53	2824,92346	349,74	311,10	91,7521
14-Feb-16	214,91	328,88	2801,15109	350,22	311,50	90,9771
15-Feb-16	214,91	327,85	2806,964	349,4	310,40	89,8349
16-Feb-16	214,85	327,80	2808,73579	349,33	310,30	89,8233
17-Feb-16	214,84	327,34	2814,70582	348,86	309,80	89,8162
18-Feb-16	214,71	326,37	2775,49902	347,83	308,70	88,0068
19-Feb-16	214,65	325,19	2735,52599	347,62	307,30	83,4548
20-Feb-16	214,20	324,52	2625,20373	346,08	306,60	82,0111

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
21-Feb-16	214,25	325,03	2635,18063	346,85	307,10	82,0110
22-Feb-16	214,24	322,81	2617,52111	345,58	304,70	77,9596
23-Feb-16	214,27	323,52	2626,0088	346,75	305,10	77,1575
24-Feb-16	214,26	323,07	2623,08181	346,28	304,90	77,2055
25-Feb-16	214,32	323,77	2628,84299	347,21	305,59	77,2018
26-Feb-16	214,49	322,66	2670,89959	346,66	304,50	76,5923
27-Feb-16	214,22	323,14	2618,80592	347,33	304,50	74,5805
28-Feb-16	214,12	322,52	2597,68496	346,1	304,00	75,0549
29-Feb-16	214,16	322,72	2597,36824	346,34	304,40	75,2820
1-Mar-16	214,21	322,19	2627,74402	346,04	303,80	75,3128
2-Mar-16	214,19	322,03	2615,27628	346,21	303,40	74,0122
3-Mar-16	214,06	320,47	2587,77724	347,21	301,45	67,6087
4-Mar-16	213,43	320,19	2595,84388	346,11	301,25	69,2476



Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
5-Mar-16	212,40	321,33	2497,97139	344,51	302,50	72,4164
6-Mar-16	212,17	322,62	2375,91339	345,37	303,55	70,4191
7-Mar-16	212,17	322,62	2375,91339	345,37	303,55	70,4191
8-Mar-16	212,17	322,62	2375,91339	345,37	303,55	70,4191
9-Mar-16	212,17	322,62	2375,91339	345,37	303,55	70,4191
10-Mar-16	212,17	322,62	2375,91339	345,37	303,55	70,4191
11-Mar-16	210,26	325,65	2384,01081	347,57	306,10	73,3866
12-Mar-16	209,87	325,28	2343,65984	346,65	305,70	73,1724
13-Mar-16	210,23	323,82	2403,41803	346,06	304,30	72,4907
14-Mar-16	210,43	324,52	2445,06965	347,39	304,90	72,5260
15-Mar-16	210,79	324,60	2569,56229	346,63	305,60	78,4101
16-Mar-16	211,40	325,60	2681,42643	347,77	306,80	82,1966
17-Mar-16	211,50	324,13	2673,62064	347,9	304,90	77,3430

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
18-Mar-16	211,67	323,63	2670,84344	348,47	304,10	74,4721
19-Mar-16	211,65	324,05	2669,79633	347,73	304,80	77,3409
20-Mar-16	211,67	324,69	2676,07601	348,57	305,40	77,4054
21-Mar-16	211,72	324,96	2664,55606	348,32	305,80	78,1337
22-Mar-16	211,70	322,80	2656,17173	345,99	303,90	77,5130
23-Mar-16	211,48	321,85	2631,25131	345,58	302,60	74,9722
24-Mar-16	211,56	323,34	2596,1543	347,16	304,09	74,6164
25-Mar-16	211,74	323,68	2653,84804	347,09	304,70	77,4561
26-Mar-16	211,78	322,66	2678,23462	346,12	303,70	77,4865
27-Mar-16	211,77	322,83	2676,02545	346,4	303,80	77,4269
28-Mar-16	211,96	323,27	2709,80551	347,31	304,20	77,4279
29-Mar-16	211,95	323,13	2719,36138	347,29	304,00	77,3993
30-Mar-16	211,96	323,16	2699,18436	347,37	304,20	77,1123

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
31-Mar-16	211,90	322,76	2721,84181	347,05	303,70	77,3676
1-Apr-16	212,10	322,67	2768,89236	347,58	303,70	77,4146
2-Apr-16	212,15	323,25	2807,88456	348,33	304,20	78,2048
3-Apr-16	212,05	323,44	2826,12922	347,2	304,80	82,2115
4-Apr-16	211,95	322,12	2749,26048	345,19	303,60	81,1320
5-Apr-16	211,98	321,91	2740,8049	345,49	303,37	79,6170
6-Apr-16	212,35	322,51	2818,50632	346,88	303,90	80,1967
7-Apr-16	212,22	323,51	2802,83726	347,37	304,70	81,1476
8-Apr-16	212,25	322,46	2726,40976	346,17	303,90	79,2186
9-Apr-16	212,26	322,37	2746,38274	346,14	303,60	79,2513
10-Apr-16	212,28	322,35	2736,45368	346,09	303,73	79,2709
11-Apr-16	212,25	322,51	2762,9838	346,47	303,70	79,2859
12-Apr-16	211,88	323,42	2760,41606	347,06	304,75	80,6521

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
13-Apr-16	211,80	325,02	2783,70399	346,72	306,80	87,1346
14-Apr-16	212,28	325,17	2819,6391	347,27	307,00	87,1995
15-Apr-16	212,45	323,48	2718,48221	345,58	305,00	82,6699
16-Apr-16	213,10	325,72	2794,99496	348,24	307,50	85,4331
17-Apr-16	214,19	325,61	2758,2066	348,61	307,20	82,7705
18-Apr-16	214,35	324,89	2745,38771	347,97	306,60	82,1110
19-Apr-16	214,58	324,63	2816,24557	346,69	306,70	86,9393
20-Apr-16	214,39	324,15	2824,79446	347,28	306,10	84,3655
21-Apr-16	214,58	327,00	2902,34113	350,2	308,80	87,6242
22-Apr-16	214,80	327,75	2901,43188	349,82	310,10	91,7643
23-Apr-16	214,68	327,88	2895,03237	349,92	310,20	91,7622
24-Apr-16	214,58	327,20	2917,93596	349,28	309,40	91,7699
25-Apr-16	214,57	326,08	2932,56756	348,09	308,30	91,7838

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
26-Apr-16	215,02	326,92	2939,82757	349,37	309,39	91,8666
27-Apr-16	215,18	326,95	2961,69343	349,62	309,20	91,6450
28-Apr-16	215,18	327,14	2936,3991	349,62	309,60	91,9897
29-Apr-16	215,18	327,14	2936,3991	349,62	309,60	91,9897
30-Apr-16	215,11	326,78	2935,48658	349,49	309,10	90,7232
1-May-16	214,95	326,90	2906,1098	349,18	309,37	91,0195
2-May-16	215,02	327,28	2932,65186	349,6	309,70	91,7640
3-May-16	214,85	327,54	2902,93544	349,77	309,80	91,3149
4-May-16	215,09	327,45	2953,1143	350,33	309,80	91,3885
5-May-16	214,89	326,89	2914,3859	349,19	309,40	91,5403
6-May-16	214,82	327,41	2920,33294	350,04	309,50	90,7948
7-May-16	214,80	327,32	2901,09386	349,49	309,70	91,6627
8-May-16	214,85	327,14	2924,24387	349,47	309,40	91,6601

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
9-May-16	214,90	326,82	2914,91369	349,65	309,00	89,6958
10-May-16	214,79	325,71	2897,07604	348,63	307,80	88,1168
11-May-16	214,54	325,37	2822,90028	347,9	307,40	86,8183
12-May-16	214,59	325,72	2844,06821	349,08	307,93	86,2625
13-May-16	214,78	325,89	2897,59399	348,19	308,50	91,3438
14-May-16	214,80	326,20	2919,71389	348,63	308,60	91,5378
15-May-16	214,79	327,34	2885,59202	349,63	309,80	91,5357
16-May-16	215,02	327,56	2911,1268	350,17	310,10	91,5721
17-May-16	215,05	326,93	2934,65274	349,6	309,40	91,5725
18-May-16	215,03	327,14	2958,82233	350,05	309,50	91,5898
19-May-16	215,07	327,95	2972,43149	351,1	310,20	91,5967
20-May-16	215,17	328,48	2931,7093	351,5	310,99	91,5600
21-May-16	215,35	328,41	2955,44345	351,63	310,99	91,6038

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in,(Measured)}$	$TC_{out,(Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in,(Measured)}$	$TH_{out,(Measured)}$	Mv,tube
22-May-16	215,19	329,41	2941,1595	353,56	311,40	88,7296
23-May-16	215,35	330,23	2969,50646	353,86	312,50	91,5644
24-May-16	215,33	330,79	2975,98832	354,62	312,90	91,5547
25-May-16	215,37	331,91	2988,89639	356,36	313,80	90,7883
26-May-16	215,30	332,76	2970,08248	356,99	314,70	91,4247
27-May-16	215,63	333,86	3045,34345	359,13	315,70	91,4955
28-May-16	215,14	333,24	2977,93973	357,62	315,20	91,4751
29-May-16	215,07	334,83	2939,64555	358,87	317,00	92,3830
30-May-16	215,08	335,37	2919,50024	358,6	317,50	93,5249
31-May-16	215,15	338,20	2912,72449	358,75	320,90	102,9536
1-Jun-16	214,88	340,02	2841,03704	360,34	322,70	102,4480
2-Jun-16	214,32	342,54	2722,98806	359,79	326,00	111,4861
3-Jun-16	213,58	346,18	2532,92684	361,66	330,10	114,2804

22

Description	Shell Side Inlet Temp (101-TI225)	Shell Side Outlet Temp (101-TI256)	Flow Rate Shell Side	Tube Side Inlet Temp (101-TI242)	Tube Side Outlet Temp (101-TI255)	Flow Rate Tube Side
Unit	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr	°C	°C	m <sup>3</sup> /hr
Variable	$TC_{in, (Measured)}$	$TC_{out, (Measured)}$	Mv,shell	$TH_{in, (Measured)}$	$TH_{out, (Measured)}$	Mv,tube
4-Jun-16	212,81	347,11	2354,46765	364,13	329,40	98,8615
5-Jun-16	212,40	350,38	2221,35504	367,09	332,70	96,1499
6-Jun-16	211,88	352,92	2075,85629	365,67	337,20	109,8513
7-Jun-16	211,41	353,77	1999,18888	366,17	338,10	108,2278
8-Jun-16	211,37	352,07	2048,93116	364,46	337,30	116,4405



**LAMPIRAN G** Data *Fouling Resistance Heat Exchanger* pada  
Kondisi Sebelum Dioptimasi, Setelah Dioptimasi, Kondisi Desain

Description	<i>Fouling Resistance</i>		
	Sebelum	Sesudah	Desain
Unit	m <sup>2</sup> C/W		
1-Jan-16	3,22,E-03	4,81,E-04	9,91,E-04
2-Jan-16	3,22,E-03	4,81,E-04	9,91,E-04
3-Jan-16	3,09,E-03	4,51,E-04	9,91,E-04
4-Jan-16	3,03,E-03	6,72,E-05	9,91,E-04
5-Jan-16	3,10,E-03	4,18,E-04	9,91,E-04
6-Jan-16	3,10,E-03	4,18,E-04	9,91,E-04
7-Jan-16	3,10,E-03	4,15,E-04	9,91,E-04
8-Jan-16	3,10,E-03	4,18,E-04	9,91,E-04
9-Jan-16	3,10,E-03	4,18,E-04	9,91,E-04
10-Jan-16	3,10,E-03	4,18,E-04	9,91,E-04
11-Jan-16	3,10,E-03	4,15,E-04	9,91,E-04
12-Jan-16	3,05,E-03	4,39,E-04	9,91,E-04
13-Jan-16	2,97,E-03	4,93,E-04	9,91,E-04
14-Jan-16	2,98,E-03	4,75,E-04	9,91,E-04
15-Jan-16	2,96,E-03	4,89,E-04	9,91,E-04
16-Jan-16	2,97,E-03	4,87,E-04	9,91,E-04
17-Jan-16	2,96,E-03	5,17,E-04	9,91,E-04
18-Jan-16	2,93,E-03	4,72,E-04	9,91,E-04
19-Jan-16	2,93,E-03	4,82,E-04	9,91,E-04
20-Jan-16	2,91,E-03	4,83,E-04	9,91,E-04
21-Jan-16	2,95,E-03	4,96,E-04	9,91,E-04
22-Jan-16	2,94,E-03	5,00,E-04	9,91,E-04
23-Jan-16	2,90,E-03	4,60,E-04	9,91,E-04

Description	<i>Fouling Resistance</i>		
	Sebelum	Sesudah	Desain
Unit	m <sup>2</sup> C/W		
	2,86,E-03	4,43,E-04	9,91,E-04
25-Jan-16	2,86,E-03	4,43,E-04	9,91,E-04
26-Jan-16	2,88,E-03	4,61,E-04	9,91,E-04
27-Jan-16	2,88,E-03	4,61,E-04	9,91,E-04
28-Jan-16	2,83,E-03	4,40,E-04	9,91,E-04
29-Jan-16	2,77,E-03	4,47,E-04	9,91,E-04
30-Jan-16	2,78,E-03	4,64,E-04	9,91,E-04
31-Jan-16	2,76,E-03	4,58,E-04	9,91,E-04
1-Feb-16	2,70,E-03	4,58,E-04	9,91,E-04
2-Feb-16	2,68,E-03	4,70,E-04	9,91,E-04
3-Feb-16	2,66,E-03	4,71,E-04	9,91,E-04
4-Feb-16	2,66,E-03	4,65,E-04	9,91,E-04
5-Feb-16	2,67,E-03	4,66,E-04	9,91,E-04
6-Feb-16	2,66,E-03	4,48,E-04	9,91,E-04
7-Feb-16	2,65,E-03	4,46,E-04	9,91,E-04
8-Feb-16	2,65,E-03	4,44,E-04	9,91,E-04
9-Feb-16	2,70,E-03	4,78,E-04	9,91,E-04
10-Feb-16	2,56,E-03	4,43,E-04	9,91,E-04
11-Feb-16	2,55,E-03	4,35,E-04	9,91,E-04
12-Feb-16	2,55,E-03	4,29,E-04	9,91,E-04
13-Feb-16	2,55,E-03	4,29,E-04	9,91,E-04
14-Feb-16	2,54,E-03	4,45,E-04	9,91,E-04
15-Feb-16	2,55,E-03	4,51,E-04	9,91,E-04
16-Feb-16	2,58,E-03	4,46,E-04	9,91,E-04
17-Feb-16	2,56,E-03	4,40,E-04	9,91,E-04
18-Feb-16	2,60,E-03	4,42,E-04	9,91,E-04

Description	<i>Fouling Resistance</i>		
	Sebelum	Sesudah	Desain
Unit	m <sup>2</sup> C/W		
19-Feb-16	2,68,E-03	4,82,E-04	9,91, E-04
20-Feb-16	2,75,E-03	4,82,E-04	9,91,E-04
21-Feb-16	2,75,E-03	4,88,E-04	9,91,E-04
22-Feb-16	2,81,E-03	5,26,E-04	9,91,E-04
23-Feb-16	2,82,E-03	5,14,E-04	9,91,E-04
24-Feb-16	2,83,E-03	5,38,E-04	9,91,E-04
25-Feb-16	2,84,E-03	5,43,E-04	9,91,E-04
26-Feb-16	2,82,E-03	5,55,E-04	9,91,E-04
27-Feb-16	2,86,E-03	5,39,E-04	9,91,E-04
28-Feb-16	2,87,E-03	5,34,E-04	9,91,E-04
29-Feb-16	2,88,E-03	5,55,E-04	9,91,E-04
1-Mar-16	2,87,E-03	5,47,E-04	9,91,E-04
2-Mar-16	2,87,E-03	5,44,E-04	9,91,E-04
3-Mar-16	2,99,E-03	6,32,E-04	9,91,E-04
4-Mar-16	2,96,E-03	6,13,E-04	9,91,E-04
5-Mar-16	2,96,E-03	5,53,E-04	9,91,E-04
6-Mar-16	3,04,E-03	5,61,E-04	9,91,E-04
7-Mar-16	3,04,E-03	5,61,E-04	9,91,E-04
8-Mar-16	3,04,E-03	5,61,E-04	9,91,E-04
9-Mar-16	3,04,E-03	5,61,E-04	9,91,E-04
10-Mar-16	3,04,E-03	5,61,E-04	9,91,E-04
11-Mar-16	2,88,E-03	4,89,E-04	9,91,E-04
12-Mar-16	2,89,E-03	4,79,E-04	9,91,E-04
13-Mar-16	2,88,E-03	5,06,E-04	9,91,E-04
14-Mar-16	2,87,E-03	5,08,E-04	9,91,E-04
15-Mar-16	2,79,E-03	4,78,E-04	9,91,E-04

Description	<i>Fouling Resistance</i>		
	Sebelum	Sesudah	Desain
Unit	m <sup>2</sup> C/W		
16-Mar-16	2,63,E-03	4,52,E-04	9,91,E-04
17-Mar-16	2,64,E-03	4,86,E-04	9,91,E-04
18-Mar-16	2,67,E-03	5,02,E-04	9,91,E-04
19-Mar-16	2,66,E-03	4,78,E-04	9,91,E-04
20-Mar-16	2,65,E-03	4,79,E-04	9,91,E-04
21-Mar-16	2,65,E-03	4,76,E-04	9,91,E-04
22-Mar-16	2,67,E-03	5,00,E-04	9,91,E-04
23-Mar-16	2,72,E-03	5,03,E-04	9,91,E-04
24-Mar-16	2,72,E-03	5,15,E-04	9,91,E-04
25-Mar-16	2,69,E-03	4,98,E-04	9,91,E-04
26-Mar-16	2,67,E-03	4,95,E-04	9,91,E-04
27-Mar-16	2,68,E-03	4,94,E-04	9,91,E-04
28-Mar-16	2,67,E-03	4,93,E-04	9,91,E-04
29-Mar-16	2,65,E-03	4,88,E-04	9,91,E-04
30-Mar-16	2,64,E-03	5,17,E-04	9,91,E-04
31-Mar-16	2,65,E-03	4,99,E-04	9,91,E-04
1-Apr-16	2,63,E-03	5,13,E-04	9,91,E-04
2-Apr-16	2,63,E-03	4,97,E-04	9,91,E-04
3-Apr-16	2,58,E-03	4,76,E-04	9,91,E-04
4-Apr-16	2,60,E-03	4,85,E-04	9,91,E-04
5-Apr-16	2,60,E-03	5,08,E-04	9,91,E-04
6-Apr-16	2,58,E-03	5,04,E-04	9,91,E-04
7-Apr-16	2,56,E-03	4,70,E-04	9,91,E-04
8-Apr-16	2,62,E-03	5,10,E-04	9,91,E-04
9-Apr-16	2,63,E-03	4,89,E-04	9,91,E-04
10-Apr-16	2,63,E-03	5,03,E-04	9,91,E-04

Description	<i>Fouling Resistance</i>		
	Sebelum	Sesudah	Desain
Unit	m <sup>2</sup> C/W		
11-Apr-16	2,62,E-03	4,89,E-04	9,91,E-04
12-Apr-16	2,59,E-03	4,92,E-04	9,91,E-04
13-Apr-16	2,51,E-03	4,40,E-04	9,91,E-04
14-Apr-16	2,49,E-03	4,48,E-04	9,91,E-04
15-Apr-16	2,62,E-03	4,53,E-04	9,91,E-04
16-Apr-16	2,49,E-03	4,53,E-04	9,91,E-04
17-Apr-16	2,54,E-03	4,53,E-04	9,91,E-04
18-Apr-16	2,53,E-03	4,68,E-04	9,91,E-04
19-Apr-16	2,45,E-03	4,32,E-04	9,91,E-04
20-Apr-16	2,48,E-03	4,66,E-04	9,91,E-04
21-Apr-16	2,40,E-03	4,25,E-04	9,91,E-04
22-Apr-16	2,38,E-03	4,21,E-04	9,91,E-04
23-Apr-16	2,37,E-03	4,20,E-04	9,91,E-04
24-Apr-16	2,37,E-03	4,08,E-04	9,91,E-04
25-Apr-16	2,36,E-03	4,05,E-04	9,91,E-04
26-Apr-16	2,36,E-03	4,31,E-04	9,91,E-04
27-Apr-16	2,36,E-03	4,13,E-04	9,91,E-04
28-Apr-16	2,36,E-03	4,30,E-04	9,91,E-04
29-Apr-16	2,36,E-03	4,30,E-04	9,91,E-04
30-Apr-16	2,38,E-03	4,30,E-04	9,91,E-04
1-May-16	2,40,E-03	4,38,E-04	9,91,E-04
2-May-16	2,39,E-03	4,26,E-04	9,91,E-04
3-May-16	2,40,E-03	4,17,E-04	9,91,E-04
4-May-16	2,39,E-03	4,31,E-04	9,91,E-04
5-May-16	2,45,E-03	4,38,E-04	9,91,E-04
6-May-16	2,39,E-03	4,15,E-04	9,91,E-04

Description	<i>Fouling Resistance</i>		
	Sebelum	Sesudah	Desain
Unit	m <sup>2</sup> C/W		
7-May-16	2,39,E-03	4,22,E-04	9,91,E-04
8-May-16	2,40,E-03	4,14,E-04	9,91,E-04
9-May-16	2,44,E-03	4,34,E-04	9,91,E-04
10-May-16	2,45,E-03	4,37,E-04	9,91,E-04
11-May-16	2,45,E-03	4,40,E-04	9,91,E-04
12-May-16	2,55,E-03	4,74,E-04	9,91,E-04
13-May-16	2,47,E-03	4,47,E-04	9,91,E-04
14-May-16	2,42,E-03	4,28,E-04	9,91,E-04
15-May-16	2,43,E-03	4,34,E-04	9,91,E-04
16-May-16	2,44,E-03	4,44,E-04	9,91,E-04
17-May-16	2,45,E-03	4,37,E-04	9,91,E-04
18-May-16	2,43,E-03	4,31,E-04	9,91,E-04
19-May-16	2,43,E-03	4,24,E-04	9,91,E-04
20-May-16	2,44,E-03	4,48,E-04	9,91,E-04
21-May-16	2,45,E-03	4,55,E-04	9,91,E-04
22-May-16	2,46,E-03	4,45,E-04	9,91,E-04
23-May-16	2,40,E-03	4,40,E-04	9,91,E-04
24-May-16	2,38,E-03	4,27,E-04	9,91,E-04
25-May-16	2,35,E-03	4,25,E-04	9,91,E-04
26-May-16	2,34,E-03	4,23,E-04	9,91,E-04
27-May-16	2,32,E-03	4,24,E-04	9,91,E-04
28-May-16	2,44,E-03	4,30,E-04	9,91,E-04
29-May-16	2,45,E-03	4,41,E-04	9,91,E-04
30-May-16	2,37,E-03	4,18,E-04	9,91,E-04
31-May-16	2,28,E-03	3,55,E-04	9,91,E-04
1-Jun-16	2,33,E-03	3,55,E-04	9,91,E-04

Description	<i>Fouling Resistance</i>		
	Sebelum	Sesudah	Desain
Unit	m <sup>2</sup> C/W		
2-Jun-16	2,31,E-03	3,05,E-04	9,91,E-04
3-Jun-16	2,35,E-03	2,82,E-04	9,91,E-04
4-Jun-16	2,57,E-03	2,74,E-04	9,91,E-04
5-Jun-16	2,69,E-03	2,82,E-04	9,91,E-04
6-Jun-16	2,73,E-03	2,20,E-04	9,91,E-04
7-Jun-16	2,83,E-03	2,14,E-04	9,91,E-04
8-Jun-16	2,83,E-03	2,27,E-04	9,91,E-04

**LAMPIRAN H** Data *Effektifitas Heat Exchanger* pada Kon<sup>11-12</sup>  
Sebelum Dioptimasi dan Setelah Dioptimasi

Description	<i>Effektifitas</i>	
	Sebelum	Sesudah
1-Jan-16	0,544971	0,901016
2-Jan-16	0,544971	0,901016
3-Jan-16	0,548533	0,90431
4-Jan-16	0,544446	0,982167
5-Jan-16	0,545592	0,909846
6-Jan-16	0,545592	0,909846
7-Jan-16	0,545592	0,91022
8-Jan-16	0,545592	0,909846
9-Jan-16	0,545592	0,909846
10-Jan-16	0,545592	0,909846
11-Jan-16	0,545592	0,91022
12-Jan-16	0,54581	0,90466
13-Jan-16	0,546259	0,891948
14-Jan-16	0,546831	0,895762
15-Jan-16	0,544673	0,891796
16-Jan-16	0,543867	0,891725
17-Jan-16	0,545475	0,886528
18-Jan-16	0,549856	0,895543
19-Jan-16	0,552425	0,894644
20-Jan-16	0,553293	0,894003
21-Jan-16	0,553869	0,893019
22-Jan-16	0,552708	0,891779
23-Jan-16	0,550874	0,89698
24-Jan-16	0,553464	0,900233
25-Jan-16	0,553464	0,900233



Description	<i>Effektifitas</i>	
	Sebelum	Sesudah
26-Jan-16	0,556889	0,898318
27-Jan-16	0,556889	0,898318
28-Jan-16	0,557022	0,901005
29-Jan-16	0,55877	0,898081
30-Jan-16	0,55735	0,894866
31-Jan-16	0,558718	0,896025
1-Feb-16	0,559122	0,893917
2-Feb-16	0,560862	0,891506
3-Feb-16	0,56202	0,891031
4-Feb-16	0,565569	0,893438
5-Feb-16	0,565976	0,893438
6-Feb-16	0,56972	0,893781
7-Feb-16	0,571248	0,898927
8-Feb-16	0,569501	0,898718
9-Feb-16	0,566068	0,892398
10-Feb-16	0,565697	0,894617
11-Feb-16	0,566362	0,896192
12-Feb-16	0,565587	0,897116
13-Feb-16	0,565201	0,896767
14-Feb-16	0,566781	0,893984
15-Feb-16	0,568164	0,893382
16-Feb-16	0,565512	0,894394
17-Feb-16	0,567704	0,895573
18-Feb-16	0,568492	0,896922
19-Feb-16	0,567938	0,891513
20-Feb-16	0,569905	0,894535
21-Feb-16	0,568537	0,893084

Description	<i>Effektifitas</i>	
	Sebelum	Sesudah
22-Feb-16	0,569556	0,888538
23-Feb-16	0,56936	0,890781
24-Feb-16	0,56811	0,886483
25-Feb-16	0,566718	0,88517
26-Feb-16	0,567078	0,882622
27-Feb-16	0,569772	0,887456
28-Feb-16	0,570264	0,888859
29-Feb-16	0,567438	0,884945
1-Mar-16	0,568199	0,885846
2-Mar-16	0,570535	0,887358
3-Mar-16	0,570549	0,876339
4-Mar-16	0,571069	0,878623
5-Mar-16	0,572162	0,889422
6-Mar-16	0,573359	0,891359
7-Mar-16	0,573359	0,891359
8-Mar-16	0,573359	0,891359
9-Mar-16	0,573359	0,891359
10-Mar-16	0,573359	0,891359
11-Mar-16	0,58289	0,901945
12-Mar-16	0,585155	0,904807
13-Mar-16	0,584194	0,899277
14-Mar-16	0,58176	0,897854
15-Mar-16	0,574809	0,898359
16-Mar-16	0,579091	0,899444
17-Mar-16	0,585283	0,89521
18-Mar-16	0,585882	0,893628
19-Mar-16	0,583547	0,896734

Description	<i>Effektifitas</i>	
	Sebelum	Sesudah
20-Mar-16	0,583344	0,896262
21-Mar-16	0,583043	0,896621
22-Mar-16	0,583094	0,893205
23-Mar-16	0,584197	0,894452
24-Mar-16	0,584464	0,892771
25-Mar-16	0,58099	0,893364
26-Mar-16	0,582225	0,893825
27-Mar-16	0,581811	0,893863
28-Mar-16	0,580922	0,893333
29-Mar-16	0,582288	0,894179
30-Mar-16	0,583408	0,888932
31-Mar-16	0,582605	0,892204
1-Apr-16	0,581203	0,888535
2-Apr-16	0,579062	0,890328
3-Apr-16	0,578248	0,892405
4-Apr-16	0,581642	0,892819
5-Apr-16	0,582154	0,889267
6-Apr-16	0,580643	0,888162
7-Apr-16	0,582065	0,894351
8-Apr-16	0,581294	0,88907
9-Apr-16	0,580867	0,892805
10-Apr-16	0,580871	0,890263
11-Apr-16	0,580611	0,892507
12-Apr-16	0,58087	0,891234
13-Apr-16	0,579885	0,898168
14-Apr-16	0,579882	0,895824
15-Apr-16	0,578943	0,8988

Description	<i>Effektifitas</i>	
	Sebelum	Sesudah
16-Apr-16	0,581785	0,895525
17-Apr-16	0,58177	0,897055
18-Apr-16	0,584805	0,894655
19-Apr-16	0,584644	0,899032
20-Apr-16	0,583259	0,893067
21-Apr-16	0,583586	0,898159
22-Apr-16	0,579829	0,897332
23-Apr-16	0,581248	0,897593
24-Apr-16	0,581359	0,900021
25-Apr-16	0,582557	0,900631
26-Apr-16	0,580266	0,894579
27-Apr-16	0,579797	0,898145
28-Apr-16	0,579797	0,894648
29-Apr-16	0,579797	0,894648
30-Apr-16	0,579586	0,895312
1-May-16	0,577966	0,894023
2-May-16	0,577637	0,895755
3-May-16	0,578857	0,898402
4-May-16	0,576552	0,894432
5-May-16	0,572434	0,893826
6-May-16	0,579443	0,898748
7-May-16	0,579017	0,897329
8-May-16	0,577444	0,898543
9-May-16	0,576443	0,8953
10-May-16	0,578798	0,89579
11-May-16	0,583135	0,897033
12-May-16	0,572007	0,889763

Description	<i>Effektifitas</i>	
	Sebelum	Sesudah
13-May-16	0,572405	0,892583
14-May-16	0,576021	0,895971
15-May-16	0,57548	0,894982
16-May-16	0,572509	0,89222
17-May-16	0,571972	0,893636
18-May-16	0,57238	0,894414
19-May-16	0,572135	0,895309
20-May-16	0,570561	0,89074
21-May-16	0,568224	0,888726
22-May-16	0,571331	0,891947
23-May-16	0,572365	0,891324
24-May-16	0,573872	0,893801
25-May-16	0,576615	0,893971
26-May-16	0,576662	0,894218
27-May-16	0,575015	0,892497
28-May-16	0,566059	0,892501
29-May-16	0,563811	0,890123
30-May-16	0,571253	0,894999
31-May-16	0,571911	0,90607
1-Jun-16	0,569758	0,906873
2-Jun-16	0,570351	0,918443
3-Jun-16	0,572881	0,926002
4-Jun-16	0,575276	0,933345
5-Jun-16	0,571916	0,933807
6-Jun-16	0,569603	0,947689
7-Jun-16	0,567868	0,950208
8-Jun-16	0,558145	0,945965

## BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Febianti Amira Rahmadani. Penulis dilahirkan di Kota Surabaya, 26 Februari 1994. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Dalam riwayat pendidikannya, penulis telah menamatkan pendidikan formal dari TK. Al Hidayah Surabaya, TK.

Bina Patra Cepu, SD Negeri 3 Cepu, SMP Negeri 2 Cepu, SMA Negeri 1 Cepu dan menempuh perkuliahan di Jurusan Teknik Fisika ITS Surabaya. Saat masa studi, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS, Tim Zelena Electric Car II Teknik Fisika ITS serta asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol. Dalam Tugas Akhir, penulis mengambil bidang minat instrumentasi dengan tema optimasi kondisi operasi untuk mengurangi *fouling* pada *heat exchanger*. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui email : [febiantiamira26@gmail.com](mailto:febiantiamira26@gmail.com)